



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

TÍTULO:

**“PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL RESIDUO
LLANTAS DE DESECHO EN LA CIUDAD DE MANAGUA”.**

AUTOR:

GUSTAVO ENRIQUE ÁLVAREZ ESPINOZA

TUTOR:

M.SC. SERGIO ENRIQUE ÁLVAREZ GARCÍA

29 DE OCTUBRE DEL 2019.

MANAGUA, NICARAGUA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

ALVAREZ ESPINOZA GUSTAVO ENRIQUE

Carne: 2005-20109 Turno **Diurno** Plan de Estudios 972A de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil quince.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

DECANATURA

Managua, 25 de junio de 2019

Br. Gustavo Enrique Álvarez Espinoza

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **“Propuesta de tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho, en la ciudad de Managua”**, para obtener el título de **Ingeniero Mecánico** y que contará con el **MSc. Sergio Enrique Álvarez García** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,


MSc. Lester Antonio Artola Chavarria
Decano



C/c Archivo
LACH/art

Managua, Nicaragua. Apdo. 5595 • Tel.: 249-6437 • 248-6879 • 251 8271 • 251 8276
Telefax: 240 1653 • 249 0942

Managua, 29 de octubre del 2019

Ing. Lester Antonio Artola Chavarría
Decano
Facultad de Tecnología de la Industria-FTI.
Su despacho.

Estimado Decano:

Reciba las muestras de mi consideración y estima.

Por medio de la presente hago constar que el Bachiller Gustavo Enrique Álvarez Espinoza, ha entregado el informe final del trabajo de graduación titulado:

Propuesta de tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho en la ciudad de Managua, el cual ha sido revisado por mi persona, estableciendo que cumple con los requerimientos y requisitos académicos exigidos por la UNI, para esta forma de culminación de estudios. De tal forma que está autorizado, por mi parte, para realizar la defensa de este trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero Mecánico.

El tema desarrollado en este trabajo de graduación, tiene un carácter innovador y de aplicación práctica en relación al aprovechamiento del residuo llantas de desecho para la producción de combustibles en la generación de energía eléctrica proporcionándole valor agregado a este residuo, creando a su vez un nicho de mercado, contribuyendo a la generación de empleo y desarrollo económico en el departamento de Managua, extensible a otras regiones del país. El Bachiller Álvarez Espinoza, durante la ejecución de este trabajo, demostró dominio de los conocimientos adquiridos, aplicando técnicas y procedimientos para analizar situaciones, identificar, proponer y elaborar soluciones prácticas para problemas del campo de las ingenierías y ciencias aplicadas.

Sin más a que hacer referencia,

Me despido de usted,

Cordialmente

M.Sc. Ing. Sergio Enrique Álvarez García
Tutor

Cc: Br. Gustavo Enrique Álvarez Espinoza – Tesista
Archivo personal.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con mucho amor y respeto a mi padre *Hugo Antonio Álvarez García* y a mi madre *Esmeralda del Socorro Espinoza*, quienes me dieron la existencia, su dedicación, apoyo incondicional e inspiración para coronar mis estudios y graduarme como un profesional de bien al servicio de la sociedad.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios, nuestro creador, quien nos dotó de inteligencia para enfrentar y superar las dificultades que enfrentamos en la vida.

Agradezco a todas aquellas personas que contribuyeron con mi persona para terminar con éxito esta carrera.

Dedico especial agradecimiento al M.Sc. Ing. Sergio Enrique Álvarez García por sus valiosos aportes y conducción en la ejecución de este trabajo de graduación.

Agradezco al personal docente y autoridades de la FTI, por haberme brindado los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para enfrentar y superar los retos en esta fascinante carrera de la Ingeniería Mecánica.

Resumen

En el presente trabajo, se elaboró una propuesta de tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho para su aprovechamiento como recurso material y energético considerando su alto poder calorífico para la producción de gas de síntesis por medio de gasificación y su posterior combustión en motores de combustión interna para la generación de electricidad. Se determinaron las propiedades físicas, químicas y tecnológicas de las llantas de seco, los volúmenes anuales de generación del residuo, los aprovechamientos, usos y destino final que tiene en la actualidad en el país este residuo, así como el tratamiento y la disposición final que se le aplica. Se analizaron las distintas tecnologías disponibles y existentes a nivel internacional para su aprovechamiento material y energético. A partir de estos hallazgos, se propuso como alternativa de aprovechamiento energético la instalación de una planta de gasificación de llantas de desecho y generación de energía eléctrica, que procesa 27,000 Ton/año del residuo, la cual tiene una potencia de generación de 5MW y otros productos de la gasificación que son altamente demandados en el comercio internacional como el Fuel-Oíl, Mezcla de hidrocarburos y acero. Además, se analizó la viabilidad técnica y económica de la alternativa seleccionada, entre escenarios posibles que incluyeron el proyecto sin financiamiento, el proyecto con financiamiento preferencial de organismos multilaterales como el BCIE y con financiamiento de la banca nacional. La alternativa seleccionada, presenta una $TIR > TMAR$ es decir $48.38 \% > 25\%$, un $VAN > 0$, un $B/C = 1.77USD/USD$, y un periodo de recuperación de 2.04 años, considerándose como una posible solución, que contribuye a resolver los problemas técnicos, económicos y ambientales que genera la inadecuada gestión de las llantas de desecho en la ciudad de Managua.

Índice	Página
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
2.1 Objetivo General	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. Justificación	4
IV. Marco Teórico	6
4.1. Características y tipologías de las llantas utilizadas en Nicaragua.	6
4.1.1. Descripción general del material	6
4.1.2. Llantas usadas	6
4.1.3. Llantas reencauchadas	6
4.1.4. Llantas de desecho	7
4.2. Tendencias en el aprovechamiento y valorización energética de los residuos.	7
4.3. Tecnologías de valorización energética de los residuos.	9
4.3.1 Incineración	10
4.3.2 Pirolisis	11
4.3.3. Gasificación	15
4.3.4 Plasma	18
4.4. La vigilancia tecnológica	22
4.4.1. Metodologías de la vigilancia tecnológica	23
4.4.2. Herramientas de búsqueda para la vigilancia tecnológica	24
4.5. Criterios de evaluación y selección de alternativas de aprovechamiento y valorización material y energética del residuo llantas de desecho.	24
4.5.1. Método de los factores ponderados para selección de alternativas	24
4.5.2. Indicadores económicos para la selección de alternativas de aprovechamiento, valorización material y valorización energética del residuo.	26
V. Análisis y presentación de resultados	30
5.1. Diseño Metodológico.	29
5.2. Propiedades físicas, químicas y tecnológicas de las llantas de desechos para su uso como combustibles en la generación de energía térmica y eléctrica.	34

Índice	Página
5.2.1. Estructura de una llanta.	34
5.2.2. Propiedades químicas de una llanta.	36
5.2.3. Propiedades físicas de las llantas.	39
5.2.4. Propiedades térmicas	39
5.3. Generación anual de llantas de desecho del sector automotriz del Municipio de Managua en el periodo del 1 ° de enero del 2014 al 31 de diciembre del 2018.	40
5.4. Estado actual del tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho para su aprovechamiento y uso como combustible en la generación de energía.	42
5.4.1. Fabricación/ Importación	42
5.4.2. Recolección, transporte y almacenamiento.	44
5.4.2.1. Selección y clasificación	45
5.4.2.2. Valorización material	45
5.4.2.3. Valorización energética	47
5.4.2.4. Disposición final del residuo llantas de desecho.	48
5.5. Tecnologías para el tratamiento, disposición final y aprovechamiento como combustible en la generación de energía de las llantas de desecho.	48
5.5.1. Tecnologías para el tratamiento, aprovechamiento por medio de la valorización material de las llantas de desecho.	50
5.5.1.1. Rencauchado	50
5.5.1.2. Tratamientos mecánicos.	51
5.5.1.3. Tecnologías de reducción de tamaño	51
5.5.2. Tecnologías de regeneración	51
5.5.2.1. Desvulcanización	52
5.5.2.2. Recuperación.	52
5.5.3. Tecnologías para el tratamiento y aprovechamiento por valorización energética como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica de las llantas de desecho.	54
5.5.3.1. Incineración directa – Combustible derivado de llanta (CDL).	54
5.5.3.2. Aprovechamiento energético mediante pirólisis	55
5.5.3.3. Aprovechamiento energético por gasificación.	58
5.6. Selección de tecnologías para aprovechamiento de las llantas de desecho en la producción de combustibles para la generación de energía en la industria nacional.	59

Índice	Página
5.6.1.- Combustible alternativo - Utilización de combustible derivado de llantas de desecho (TDF) en hornos de producción de cemento	59
5.6.2. El aprovechamiento del residuo llantas de desecho, como combustible en plantas termoeléctricas, a partir de su elevado poder calorífico para generar energía eléctrica	59
5.6.3.- Obtención de mezclas de combustibles de hidrocarburos y otros materiales por medio de pirolisis de llantas de desecho	60
5.6.4. Obtención de Gas de síntesis por gasificación de llantas de desecho para la generación de energía térmica y/o eléctrica.	61
5.7. Evaluación de la viabilidad técnica-económica de las tecnologías seleccionadas para la producción de combustible en la generación de energía térmica y eléctrica en la industria nacional.	65
5.7.1. Planta de gasificación de llantas de desecho para la generación de energía eléctrica.	65
5.7.2. Elementos y componentes de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad.	67
5.7.2.1. Sección de recepción, almacenamiento, trituración, transporte y carga en el reactor.	68
5.7.2.2. Equipos Auxiliares.	68
5.7.2.3. Sala de Control.	68
5.7.2.4. Sistema de gasificación de llantas de desecho	69
5.7.2.4.1. Equipos mayores - Equipos menores de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad.	68
5.7.2.4.2 Composición del gas de síntesis (SYNGAS)	74
5.7.2.5. Sistema de limpieza del gas.	74
5.7.2.6. Sistema de generación eléctrica	75
5.8. Estudio económico financiero de la alternativa de aprovechamiento de llantas de desecho.	76
5.8.1. Supuestos de la evaluación económica financiera de la planta	77
5.8.2. Inversión estimada del proyecto	78
5.8.2.1. Inversión Fija.	78
5.8.2.2. Inversión diferida.	80
5.8.2.3. Capital de trabajo.	81
5.8.2.4. Inversión total y resumen de Inversiones.	81
5.8.3. Financiamiento.	81

Índice	Página
5.8.3.1. Estructura financiera del proyecto.	82
5.8.3.2. Depreciaciones de activos fijos y amortizaciones de activos diferidos.	83
5.8.4. Presupuesto de operación.	84
5.8.4.1. Presupuesto de ingreso	84
5.8.4.1.2. Beneficios – Tipping fee	84
5.8.4.1.3. Ingresos Beneficios – Subproductos	84
5.8.4.2. Presupuesto de egresos.	85
5.8.4.2.1. Costos operacionales de producción	85
5.8.4.2.2. Costo por Mantenimiento	86
5.8.4.2.3. Mano de Obra	84
5.8.4.3. Gastos de administración y venta.	88
5.8.4.4. Gastos financieros.	88
VI. Conclusiones	90
VII. Recomendaciones	92
8. Bibliografía	94
Anexos	

Índice de Tablas

	Página
Tabla 4.1. Tipos de reactores de gasificación	17
Tabla 5.1. Resultados de búsquedas y consultas de tecnologías y aplicaciones para el aprovechamiento, valorización material y energética del residuo llantas de desecho.	32
Tabla 5.2. Componentes y características de los diferentes tipos de llantas.	37
Tabla 5.3. Composición química elemental de las llantas de desecho.	38
Tabla 5.4. Sustancias peligrosas que contienen las llantas.	38
Tabla 5.5. Peso promedio de las llantas por categoría.	39
Tabla 5.6. Contenido energético y emisiones de CO ₂ de combustibles	39
Tabla 5.7. Índice de generación anual de llantas de desecho por tipo de vehículo y porcentaje en peso generados anualmente.	41
Tabla 5.8. Llantas de desechos, generadas en el periodo 2014-2018.	42
Tabla 5.9. Caracterización de los productos obtenidos según las tecnologías empleadas.	49
Tabla 5.10. Alternativas de aprovechamiento de las llantas de desecho.	62
Tabla 5.11. Ventajas y desventajas de las alternativas de aprovechamiento y valorización material y energética del residuo llantas de desecho.	63
Tabla 5.12. Evaluación y selección de alternativas de aprovechamiento de llantas de desecho por el método de factores ponderados.	64
Tabla 5.13. Balance de masa para la generación de 5000kWe.	73
Tabla 5.14. Productos de la valorización material y energética del residuo llantas de desecho.	73
Tabla 5.15. Composición del Gas de Síntesis (Sierra Energy)	74
Tabla 5.16. Características del módulo de cogeneración con un motor Jenbacher J620 GS-F63.	75

Índice de Tablas

	Página
Tabla 5.17. Inversión Total: Inversión Fija, Diferida y Capital de Trabajo.	82
Tabla 5.18. Programa de amortización del préstamo de la inversión, a ser otorgado por el BCIE.	83
Tabla 5.19. Ingresos totales por la venta de los productos obtenidos en la planta de gasificación y generación de energía eléctrica.	85
Tabla 5.20. Costos de mano de obra.	87
Tabla 5.21. Costos operacionales de producción.	87
Tabla 5.22. Presupuesto de egresos	88
Tabla 5.23. Resumen de resultados de evaluación económico-financiera de la alternativa planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW.	87

Índice de Figuras

	Página
Figura 4.1. Diagrama de proceso de una planta de pirolisis	12
Figura 4.2. Esquema proceso de gasificación	16
Figura 4.3. Esquema proceso de gasificación por plasma.	19
Figura 4.4. Flujo Neto de Efectivo en el tiempo.	26
Figura 4.5. Comportamiento del VPN vs TMAR.	27
Figura 5.1. Partes componentes de una llanta.	34
Figura 5.2. Importaciones de llantas en el periodo 2007-2014.	43
Figura 5.3. Niveles de tratamiento de llantas de desecho.	49
Figura 5.4. Componentes de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad.	67
Figura 5.5. Sala de control del proceso de gasificación y generación de electricidad.	69
Figura 5.6. Sistema de gasificación de llantas de desecho.	70
Figura 5.7. Diagrama de procesos de la instalación de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad de 5 MW.	71

Listado de Abreviaturas

ARS:	Empresa de Construcción de Obras Civiles en Nicaragua
BCIE:	Banco Centroamericano de Integración Económica.
BTX:	Benceno, Tolueno, Xileno
CDL:	Combustible derivado de llanta
CE:	Comisión Económica de la Unión Europea.
CEE:	Comunidad Económica Europea.
CEPE:	Comisión Económica para Europa.
CNPL:	Centro de producción más limpia de Honduras
COV:	Compuestos orgánicos volátiles.
EPA:	Agencia Estatal de Protección del Ambiente.
ETRA:	Asociación Europea de Reciclaje de Neumáticos.
FNE:	Flujo neto de efectivo
GLP:	Gas licuado de petróleo
HDM-	Diseño y mantenimiento de carreteras y costos de operación de
VOC:	vehículos.
IDAE:	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
MCC:	Centro de control de motores
MTI:	Ministerio de transporte e infraestructura.
OCADE:	Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial de Colombia.
PCB:	Policlorobifenilos
PCI:	Poder calorífico inferior, Kcal/Kg
PLC:	Controlador lógico programable.
PR:	Plazo de recuperación.
rCB:	Negro de carbono recuperado
SCADA:	Supervisión, Control y Adquisición de Datos en sistemas de control de procesos.
TDF:	Combustible derivado de llantas
TIR:	Tasa interna de retorno.
TMAR:	Tasa mínima atractiva de retorno.
UE:	Unión Europea.
UN/ECE:	Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.
UNEP:	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA.
USD:	Dólar de Estados Unidos de América
UV:	Radiación ultravioleta.
VPN:	Valor presente neto.

I. Introducción

El cambio climático global, el incremento de la demanda de energía, el impacto medio ambiental debido al uso de combustibles fósiles - como el petróleo, el gas natural y el carbón-, el crecimiento de la población y el espacio finito de la parte habitable de la tierra, hacen que cada vez se tenga un mayor interés en el uso de las energías renovables y la valorización energética de residuos. Lee (2010).

Dentro de las energías renovables, la biomasa es considerada como un importante recurso energético debido a que, si se lleva a cabo una gestión adecuada del recurso, muestra un balance neutro de CO₂ durante su combustión, dado que la cantidad de CO₂ que se genera al combustionar es la misma que absorbió de la atmósfera en el proceso de crecimiento. A esta condición se ajustan las llantas, que son un tipo especial de biomasa, dado su alto contenido de caucho ya sea natural o sintético, en su composición se encuentra presente el carbono. Las llantas de desecho, son residuos masivos, que han cumplido su vida útil, anualmente se generan miles de toneladas en el país, que no reciben el manejo, tratamiento y disposición final adecuadas.

Esta situación, crea un problema de carácter técnico, económico, ambiental y de salud pública. En efecto, las llantas son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo este proceso costoso y presentando además el inconveniente de que ocupan mucho espacio. Su almacenamiento en grandes cantidades provoca problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir, que provocan graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera, aparte de ser un refugio para fauna peligrosa y un reservorio para vectores de enfermedades.

De acuerdo con Williams (2010), no obstante, a esta problemática, por sus propiedades y composición química, este residuo, presenta oportunidades de aprovechamiento y valorización energética en calidad de combustible para la generación de energía térmica y eléctrica.

Ramos (2011), expresa que aplicando los tratamientos térmicos adecuados se pueden obtener distintos tipos de combustibles a partir de este residuo tales como combustibles derivados de llantas, mezclas de hidrocarburos, gas de síntesis, que se ajustan a los requerimientos y estándares internacionales de calidad exigidos para estos combustibles.

En el presente trabajo, se realizó un estudio relacionado con la gestión actual del residuo llantas de desecho, que incluyo la determinación de las propiedades físicas y químicas de este residuo, los volúmenes anuales de generación del residuo, su aprovechamiento material y energético en el país, así como el tratamiento y la disposición final que se le aplica. Se analizaron las distintas tecnologías existente para su aprovechamiento material y energético, seleccionando la alternativa tecnológica que mejor se adecua a las condiciones del país, que resultó ser la obtención de gas de síntesis a partir de llantas de desecho por medio del proceso de gasificación y su posterior uso como combustible para la generación de energía eléctrica. Además, se analizó la viabilidad técnica y económica de la alternativa seleccionada, entre escenarios posibles que incluyeron el proyecto sin financiamiento, con financiamiento preferencial de organismos multilaterales y con financiamiento de la banca nacional. La alternativa seleccionada presenta un monto de inversión de 11, 452,348 USD, una TIR > TMAR, 48.38 %>25%, un VAN > 0, un B/C = 1.77 USD/USD, y un periodo de recuperación de 2.04 años, parámetros que la hacen rentable, factible y viable técnica y económicamente, para tenerse como una posible solución que contribuye a resolver los problemas técnicos, económicos y ambientales que genera la inadecuada gestión de las llantas de desecho.

II. Objetivos

2.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta de tratamiento y disposición final de las llantas de desecho para su aprovechamiento y uso como combustible en la generación de energía térmica y eléctrica.

2.2. Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades físicas, químicas y tecnológicas de las llantas de desechos para su uso como combustibles en la generación de energía térmica y eléctrica.
2. Cuantificar la generación anual de llantas de desecho del sector automotriz del Municipio de Managua en el periodo del 1 ° de enero del 2014 al 31 de diciembre del 2018.
3. Definir el estado actual del tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho para su aprovechamiento y uso como combustible en la generación de energía térmica y eléctrica para Nicaragua.
4. Caracterizar las tecnologías existentes para el tratamiento, disposición final y aprovechamiento como combustible en la generación de energía térmica y eléctrica de las llantas de desecho.
5. Seleccionar las tecnologías de aprovechamiento de las llantas de desecho para la producción de combustibles en la generación de energía térmica y eléctrica en la industria nacional.
6. Evaluar la viabilidad técnica-económica de las tecnologías seleccionadas para la producción de combustible en la generación de energía térmica y eléctrica en la industria nacional.

III. Justificación

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son las llantas de desecho. Según el Convenio de Basilea, clasifica este residuo como tóxico y peligroso, con un alto poder calorífico, que dificulta su extinción en caso de incendios, y no es degradable.

De acuerdo a datos del INIDE (2017) el parque vehicular del país, creció de 374,296 a 772,112 vehículos, es decir el 106 %, lo que implica una generación de grandes cantidades de llantas usadas, que se encuentran sin control, dado que la gestión de estos residuos hasta la fecha ha sido inapropiada, lo que causa graves problemas de carácter técnico, económico ambiental y de salud para la población en general.

Las llantas se han diseñado para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras, son resistentes al ozono, a la luz y a las bacterias, lo que las hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su lanzamiento en los basureros no permite aprovechar su poder calorífico como energía térmica, ni reutilizar y reciclar los diversos componentes de los cuales se ha elaborado. A la fecha, en el país, no existe, un manejo adecuado que permita el aprovechamiento de este residuo, su tratamiento y una disposición final adecuada.

La experiencia internacional en el aprovechamiento de las llantas de desecho como materia prima para la producción de hidrocarburos y combustible gaseoso, inició hace 30 años en Japón, Estados Unidos y en países de la Unión Europea, con éxito en la práctica, principalmente como combustible alternativo y sustituto del bunker en la industria cementera. A la vez que se desarrollaban y consolidaban las tecnologías de pirólisis y gasificación de llantas de desecho para combustible líquido y gaseoso. (Ramos et al., 2011).

Al seleccionar de las distintas tecnologías disponibles para la producción de combustible y su subsecuente uso para la generación de electricidad a partir de las llantas de desecho, se estará contribuyendo a resolver la problemática técnica,

económica, ambiental y de salud que genera este residuo, además que se tendrían los siguientes beneficios:

- Menor explotación de los recursos naturales ya que se produce un ahorro en el consumo de materias primas y combustibles fósiles.
- La matriz energética del país, se modifica al tener como fuente de energía una materia prima a partir de residuos biomásicos por su alto contenido de carbono.
- Reducción de las emisiones a la atmosfera.
- No se producirían residuos adicionales que requieran un tratamiento posterior.
- Menor vertido de residuos generados por otras instalaciones industriales y menor impacto asociado a su depósito en vertederos.
- Se garantizaría el tratamiento ambiental adecuado de los residuos, sin generar impactos añadidos sobre el entorno.

IV. Marco Teórico

4.1. Características y tipologías de las llantas utilizadas en Nicaragua.

4.1.1. Descripción general del material: CNPLH (2010), define las llantas como estructuras tubulares complejas, parte elástica de las ruedas de los vehículos con una envoltura que contiene aire a presión, para soportar las cargas que actúan sobre el vehículo y transmitir al terreno las fuerzas necesarias para el movimiento. Las llantas, están compuestas, básicamente de caucho natural y sintético, negro de humo como carga de refuerzo, agentes químicos - azufre, óxido de zinc-, aditivos, aceites minerales y fibras reforzantes de hilos de acero y textiles.

4.1.2. Llantas usadas: En muchos países como Nicaragua, se permite el comercio de llantas de segunda, para su reutilización como parcialmente desgastados. Cabe destacar, por el contrario, que la adquisición de llantas de segunda conlleva riesgos y debe hacerse con el mayor cuidado. En vista de que se desconoce la forma en que se utilizaron las llantas, éstas podrían provenir de vehículos que tuvieron accidentes, podrían haber sido dañados por baches u obstáculos, utilizados sin haberse calibrado la presión adecuadamente o podrían haber sido reparados incorrectamente. Las llantas usadas, es decir aquellas que están parcialmente desgastados, pueden reutilizarse sin ningún tratamiento. Algunas fuentes de llantas usadas pueden ser:

a) Llantas montados en vehículos de segunda mano que se han vendido y en vehículos de desecho; b) Llantas viejas que se utilizan para aplicaciones menos exigentes como remolques; c) Llantas cambiadas por razones distintas de la finalización de su vida útil, por ejemplo, su reemplazo por llantas de alto rendimiento o llantas diferentes.

4.1.3. Llantas reencauchadas: Por “reencauche” se entiende el reemplazo de la superficie desgastada de la llanta. Un criterio importante en relación con el reencauchado de llantas es controlar el número de veces que puede reencaucharse. Los Reglamentos No. 108 y No. 109 de la CEPE, establecen los requisitos para aprobar la producción de llantas reencauchadas, definiendo que las llantas de automóviles pueden reencaucharse una sola vez, mientras que las llantas de camiones pueden reencaucharse un número limitado de veces, debiendo tenerse en cuenta que la vida de una cubierta original de una llanta no deberá superar los siete años.

4.1.4. Llantas de desecho: es aquella llanta que ya no puede utilizarse para el propósito para el que se fabricó originalmente. Se le califica como “desecho”, porque ya no tiene las condiciones técnicas necesarias para el reencauchado, pero el material puede recuperarse cortándolo, triturándolo o moliéndolo y utilizándolo en distintas aplicaciones, como calzado, superficies para la práctica de deportes o alfombras, entre otras. También pueden utilizarse como combustible derivado de llantas para la recuperación de energía, se les puede aplicar distintos tratamientos térmicos para obtener combustibles líquidos en mezclas de hidrocarburos y gas de síntesis, así como otros materiales como gasóleos, negro de humo, fibras y acero, de gran importancia para la industria.

4.2.- Tendencias en el aprovechamiento y valorización energética de los residuos.

Históricamente, los residuos de la producción y del consumo han sido considerados como un subproducto indeseable y molesto del desarrollo humano. Sin embargo, el constante incremento de los costos de la energía convencional, la inestabilidad geopolítica del suministro y los costos de los recursos de energía convencionales, el aumento de los costos de construcción, operación y mantenimiento de los vertederos, así como la reducción y sobre saturación de sus capacidades han llevado a un cambio en las estrategias de gestión de residuos. Como consecuencia, las tendencias en la gestión de residuos han pasado del vertido de residuos a la eliminación de estos desde el relleno sanitario y de la destrucción de residuos por incineración a su aprovechamiento y valorización energética en calidad de combustible tanto para la generación de energía térmica como eléctrica. Por lo que, en la actualidad el aprovechamiento de los residuos se convirtió en uno de los negocios más rentables, dado su potencial de recuperación de energía y recursos.

Las alternativas de reutilización, reciclaje, recuperación de los residuos generados, frecuentemente se conocen bajo los términos de aprovechamiento y valorización del residuo.

El aprovechamiento es un factor importante para ayudar a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, alargar la vida útil de los sitios de disposición final y reducir la contaminación ambiental. Además, el aprovechamiento tiene un potencial económico, ya que los materiales recuperados, son materias primas que pueden ser reincorporados al ciclo económico.

La valorización es aquella operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en una instalación o en la economía en general. CEE (2008).

La gestión integral de residuos, ubica en primer orden de prioridad y núcleo de esta al aprovechamiento y la valorización de los residuos. Por lo tanto, si es inevitable la generación de residuos, éstos deben reutilizarse o debe recuperarse su material o su energía. La reutilización de un producto, es aceptable desde un punto de vista ambiental, si contribuye a evitar la producción de residuos.

Las operaciones de valorización energética, cada vez, adquieren mayor importancia, aunque siguen planteando problemas concretos considerables. Los países miembros de la CEE, establecieron una diferenciación, en cuanto a la incineración de residuos con y sin recuperación de energía. Cuando la finalidad útil es la energía contenida en los residuos se habla de “valorización energética” en la que la utilización principal de los residuos será como combustible u otro modo de producir energía. En este caso, lo que se aprovecha no son los materiales que componen los residuos sino la energía contenida en ellos. Así se aplica valorización energética a los residuos, continuación de la prevención, la reutilización y el reciclado. Solo se debe valorizar energéticamente aquellos residuos que no se hayan podido evitar y que no sean ni reutilizables ni reciclables. CEE (2008).

Los residuos no reciclables pueden suponer un recurso energético abundante, de carácter renovable en un alto porcentaje y autóctono, lo que contribuye a diversificar

las fuentes de energía, sustituir combustibles fósiles, cumplir con objetivos en materia de energías renovables y reducir la dependencia energética exterior. La energía de los residuos es de generación distribuida y fomenta la creación de empleo.

Hay que tener en cuenta que la energía de proceso suele ser mucho mayor que la energía material de los residuos. En general, el reciclado es la mejor forma de recuperar, además del material, la energía de una parte muy importante de los residuos y debe ser prioritario, siempre que sea viable, frente a las opciones de valorización energética, en bastantes casos el beneficio ambiental del reciclado radica en los ahorros de energía primaria.

Las operaciones de valorización energética deberían realizarse utilizando con la mayor eficacia la energía producida. Por consiguiente, deberá plantearse si sólo se considerarán residuos para valorización energética los residuos que puedan proporcionar un beneficio calorífico neto. Así en las legislaciones relacionadas con la gestión de residuos, se separa el límite entre valorización energética y eliminación por incineración a alcanzar o no un valor de eficiencia energética en el proceso de incineración. Las emisiones de las instalaciones de valorización energética deben reducirse al mínimo y cumplir la normativa ambiental. Se prestará especial atención a las instalaciones que en un principio no se concibieron para utilizar residuos como combustible sustitutivo.

4.3.- Tecnologías de valorización energética de los residuos.

En la actualidad, existen diferentes tecnologías que se pueden aplicar para la valorización energética de los residuos. La mayoría de ellas consisten en procesos de tratamiento térmico como son la incineración, la gasificación, la pirolisis o la gasificación por plasma. Cada una de estas se encuentra en un estado de desarrollo de distinto nivel. Estas alternativas pueden coexistir en un mismo modelo de gestión de los residuos.

De todas formas, los criterios fundamentales para seleccionar una tecnología son los siguientes:

- El tipo de residuo o mezcla de residuos a valorizar energéticamente,
- La flexibilidad de la tecnología, es decir, que sea capaz de responder ante variaciones en las características de los residuos, en los casos que estos presenten una gran heterogeneidad en su composición,
- La experiencia y madurez de la tecnología en aplicaciones de las mismas características a las que se quiere implantar,
- La viabilidad económica.

La incineración y la cogeneración son de las tecnologías más desarrolladas y aplicadas, no obstante, siempre ha estado sometida a cuestionamiento social por sus implicaciones ambientales. La gasificación, pirólisis y gasificación por plasma presentan, en comparación con las anteriores, poseen menos referencias a nivel industrial, aunque existe una tendencia creciente en implantarse instalaciones de estas tecnologías, debido a las expectativas que poseen en cuanto a obtener mayor rendimiento energético y pocas implicaciones ambientales.

4.3.1 Incineración

En la incineración tiene lugar la combustión, reacción química que se basa en una oxidación térmica total en exceso de oxígeno. Las características generales de la incineración de residuos, son las siguientes:

- Se requiere un exceso de oxígeno respecto a la demanda estequiométrica durante la combustión, para asegurar una completa oxidación.
- La temperatura de combustión está, típicamente, comprendida entre los 850 °C y 1.100 °C, después de la última inyección de aire secundario, en función de la composición en compuestos halogenados del residuo a tratar.
- Como resultado del proceso de incineración se obtiene:
 - **Gases de combustión, compuesto principalmente por CO₂, H₂O, O₂ no reaccionado, N₂ del aire** empleado para la combustión y otros compuestos en menores proporciones procedentes de los diferentes elementos que

formaban parte de los residuos. Los componentes minoritarios presentes dependerán de la composición de los residuos tratados.

- Así pues, pueden contener gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos que no se hayan oxidado. Finalmente, los gases de combustión contendrán partículas, que son arrastradas por los gases.
- **Residuo sólido**, compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión.

El proceso global convierte la energía química contenida en el combustible en energía térmica, dejando una parte de energía química sin convertir en gas de combustión y una muy pequeña parte de energía química no convertida en las cenizas.

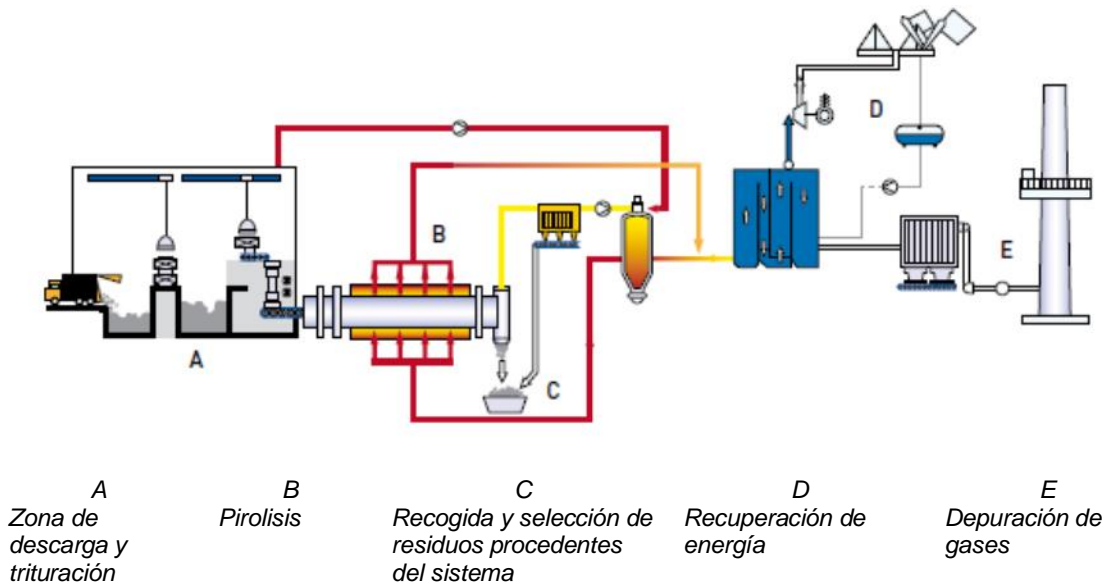
El aprovechamiento del calor de ese proceso se realiza mediante la generación de vapor de agua recalentado, con rendimientos térmicos del orden del 80 %, debido a las pérdidas caloríficas tanto en el horno como en la caldera y por la temperatura mínima de salida de los gases de combustión de la caldera de recuperación. El uso posterior del vapor, para la obtención de energía mecánica y eléctrica, tiene limitaciones en el rendimiento por razones termodinámicas en los ciclos térmicos en los que interviene el vapor, lo que supone una pérdida muy importante de energía en el foco frío del ciclo térmico.

4.3.2 Pirolisis

La pirolisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno añadido, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión. Las características básicas de dicho proceso se detallan a continuación:

- El único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar.
- Las temperaturas de trabajo, oscilan entre los 300 °C y los 800 °C.
- Como resultado del proceso se obtiene un:

- **Gas de síntesis**, cuyos componentes básicos son CO, CO₂, H₂, CH₄ y compuestos más volátiles procedentes del cracking de las moléculas orgánicas, conjuntamente con las ya existentes en los residuos.
- **Residuo líquido**, compuesto básicamente por hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes, aceites, fenoles, o ceras, formados al condensar a temperatura ambiente.
- **Residuo sólido**, compuesto por todos aquellos materiales no combustibles, los cuales o bien no han sido transformados o proceden de una condensación molecular con un alto contenido en carbón, metales pesados y otros componentes inertes de los residuos.



Fuente: IDEA (2011)

Figura 4.1. Diagrama de proceso de una planta de pirolisis

Al no darse la reacción de oxidación de los compuestos más volátiles, el PCI del gas de síntesis procedente del proceso de pirolisis llega a oscilar entre 10 y 20 MJ/Nm³. Las condiciones de operación con las que se lleva a cabo la pirolisis pueden variar, diferenciándose tres tipos:

- **Pirolisis lenta:** proceso discontinuo, (P=atm, T= 400 °C – 500 °C) en el que la velocidad de calentamiento es reducida, (<2 °C/s), prolongando su tiempo de reacción entre 5 minutos y varias horas.

- **Pirolisis rápida:** proceso continuo, a vacío y a temperaturas elevadas, por lo que la velocidad de reacción es mayor que en el caso anterior.
- Los productos volatilizados permanecen unos segundos en el reactor, evitando las reacciones de condensación.
- **Pirolisis “flash”:** proceso continuo, en el que el tiempo de residencia de los gases es $<0,5$ s, y la transmisión de calor es muy rápida. Se aplica a casos en los que el material a pirolizar tiene un alto contenido en volátiles.

Asimismo, dependiendo de la temperatura de reacción se clasifican en:

- **Procesos de baja temperatura:** <550 °C, se producen principalmente alquitranes, aceites y un residuo carbonoso.
- **Procesos de temperatura media:** entre 550 °C y 800 °C, se obtienen elevados rendimientos de gas.
- **Procesos a alta temperatura:** >800 °C y producen elevadas cantidades de gas, debido al cracking de alquitranes.

Las bajas temperaturas de trabajo provocan una menor volatilización de carbono y otros contaminantes precursores en la corriente gaseosa, como metales pesados o dioxinas. Por esto, los gases de combustión necesitarán teóricamente un tratamiento menor para cumplir los límites mínimos de emisiones fijados en las normativas de incineración. Los compuestos que no se volatilicen, permanecerán en los residuos de la pirolisis y necesitará ser gestionado adecuadamente.

Los residuos sólidos procedentes de la pirólisis pueden contener carbono, en una proporción superior al 40%, conteniendo una proporción significativa de energía del residuo de entrada. Por este motivo, la recuperación energética del horno es importante para la eficiencia energética. Esta se puede llevar a cabo de distintas maneras:

- Combustión de gases y aceites obtenidos, mediante un ciclo de vapor para la producción de energía eléctrica.
- Aplicación como etapa previa a un proceso de gasificación.
- Uso del producto sólido como combustible en instalaciones industriales, como, por ejemplo, en plantas cementeras.

Los hornos usados, típicamente, en pirólisis son:

- Hornos rotativos.
- Hornos de tubos calentados externamente.

Dados los procesos implantados de plantas con esta tecnología, la pirólisis se plantea como una etapa previa a la combustión para mejorar su rendimiento energético. Además, de los residuos recibidos se deben seleccionar los materiales con contenido energético más alto y aplicarles también un pretratamiento para su adecuación a las características del proceso.

Residuos más apropiados

Para poder tratar los residuos mediante pirólisis, se deben cumplir una serie de requisitos. Sin embargo, es difícil definir la tipología de residuos considerados como adecuados o inadecuados, dado que está muy relacionado con el tipo de reactor usado y de las condiciones de operación. Básicamente, se consideran como residuos más aptos: papel, cartón, astillas de madera, residuos de jardín y algunos plásticos seleccionados.

En cualquier caso, en cuanto a la clasificación y al pretratamiento, son de aplicación, en mayor o menor medida, los mismos criterios que para la gasificación:

1. Los residuos deben proceder de un sistema de recogida selectiva y/o en su defecto, deben someterse a un sistema de clasificación previo a la planta de pirólisis.
2. No son admisibles los residuos voluminosos, los metales, los materiales de construcción, los residuos peligrosos, vidrio y algunos plásticos, como el PVC.
3. Se requiere triturar, secar y homogeneizar los residuos, siendo los límites de aplicación distintos para cada tipo de proceso.

Ventajas/Inconvenientes

Las ventajas en el proceso de pirolisis incluyen:

- La posibilidad de recuperar fracciones orgánicas, como por ejemplo el metanol.
- La posibilidad de generar electricidad usando motores de gas o turbinas de gas para la generación, en lugar de calderas de vapor.

- Reducir el volumen de los gases de combustión, para reducir el coste de inversión en el tratamiento de gases de combustión.

Las ventajas de emisión de los gases de combustión conseguidos en este proceso se verán reducidas, cuando se realice un proceso a altas temperaturas como la gasificación o la combustión.

Como inconvenientes, se puede decir que son:

- Uso limitado a ciertos residuos.
- Requiere buen control de operación del proceso.
- La tecnología no está ampliamente probada.
- Requiere un mercado para el gas de síntesis.

Normalmente se utiliza en una etapa posterior de combustión.

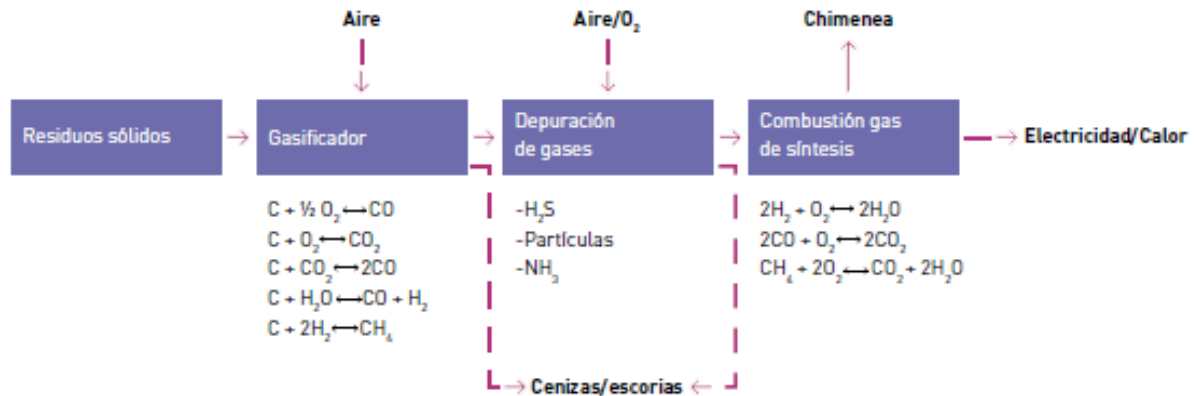
4.3.3. Gasificación

La gasificación es un proceso de oxidación parcial de la materia, en presencia de cantidades de oxígeno inferiores a las requeridas estequiométricamente.

En términos generales, las características para el proceso de gasificación de una corriente de residuos, son las siguientes:

- Se usa aire, oxígeno o vapor como fuente de oxígeno, y en ocasiones como portador en la eliminación de los productos de reacción.
- La temperatura de trabajo es típicamente superior a los 750 °C.
- Las reacciones químicas producidas en este proceso son de dos tipos:
 - **De cracking molecular:** la temperatura provoca la rotura de los enlaces moleculares más débiles originando moléculas de menor tamaño, generalmente hidrocarburos volátiles.
 - **De reformado de gases:** estas reacciones son específicas de los procesos de gasificación y en ellas suele intervenir el vapor de agua como reactivo.

En la Figura 4.2, se presentan las reacciones químicas que ocurren en el proceso de gasificación de residuos.



Fuente: IDAE (2011)

Figura 4.2. Esquema proceso de gasificación

Como resultado del proceso de gasificación se obtiene un:

- **Gas de síntesis**, compuesto principalmente por CO, H₂, CO₂, N₂ (si se emplea aire como gasificante) y CH₄ en menor proporción. Como productos secundarios se encuentran alquitranes, compuestos halogenados y partículas.
- **Residuo sólido**, compuesto por materiales no combustibles e inertes presentes en el residuo alimentado; generalmente contiene parte del carbono sin gasificar. Las características de este residuo son similares a las escorias de los hornos en las plantas de incineración.

La cantidad, composición y poder calorífico de los gases procedentes de la gasificación dependerá de la composición de los residuos, de la temperatura y de las cantidades de aire y vapor utilizadas.

A modo de ejemplo:

- Si se usa oxígeno, el PCI típico del gas de síntesis varía entre 10 y 15 MJ/Nm³.
- Si se usa aire, el PCI típico del gas de síntesis varía entre 4 y 10 MJ/Nm³

El gas de síntesis obtenido en el proceso de gasificación tiene potencialmente varios usos:

- Como materia prima para la producción de compuestos orgánicos, como la síntesis directa de metanol, amoníaco, o para su transformación en hidrógeno mediante el reformado con vapor o el reformado catalítico.

- Como combustible en los procesos de producción de energía eléctrica mediante ciclos térmicos distintos a los de vapor de agua, ya sean ciclos combinados o simples, en turbinas de gas o motores de combustión interna.
- Como combustibles en calderas tradicionales o en hornos.

El proceso de gasificación se lleva a cabo en el gasificador, donde el carbono presente en los residuos es transformado en gas de síntesis para su posterior aprovechamiento. Los principales tipos de reactores de gasificación se presentan a continuación en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tipos de reactores de gasificación

Reactor	Operación
Gasificadores de lecho fijo	Flujo a contracorriente (updraft)
	Flujo en paralelo (downdraft)
	Gasificadores de parrilla
Gasificadores de lecho fluidizado	Burbujeante
	Circulante
	De flujo arrastrado

Fuente: IDEA (2011)

Residuos más apropiados

La gasificación también tiene la restricción de poder tratar sólo algunos materiales específicos. Las características del combustible alimentado deben asegurar como mínimo que:

- Contenga el mínimo de inertes y de componentes muy húmedos.
- Tenga un tamaño de partícula comprendido entre 80 y 300mm.
- Contenga una cantidad de carbono suficiente para poder llevarse a cabo las reacciones del proceso de gasificación.
- No contener sustancias peligrosas.
- Si puede ser, que tenga elevado PCI.

Ventajas/Inconvenientes

Como principales ventajas de la valorización energética de residuos mediante gasificación, se destacan:

- La baja producción de residuos de filtrado.
- La producción de un gas de síntesis.
- La oxidación reducida de metales.

Como principales inconvenientes están:

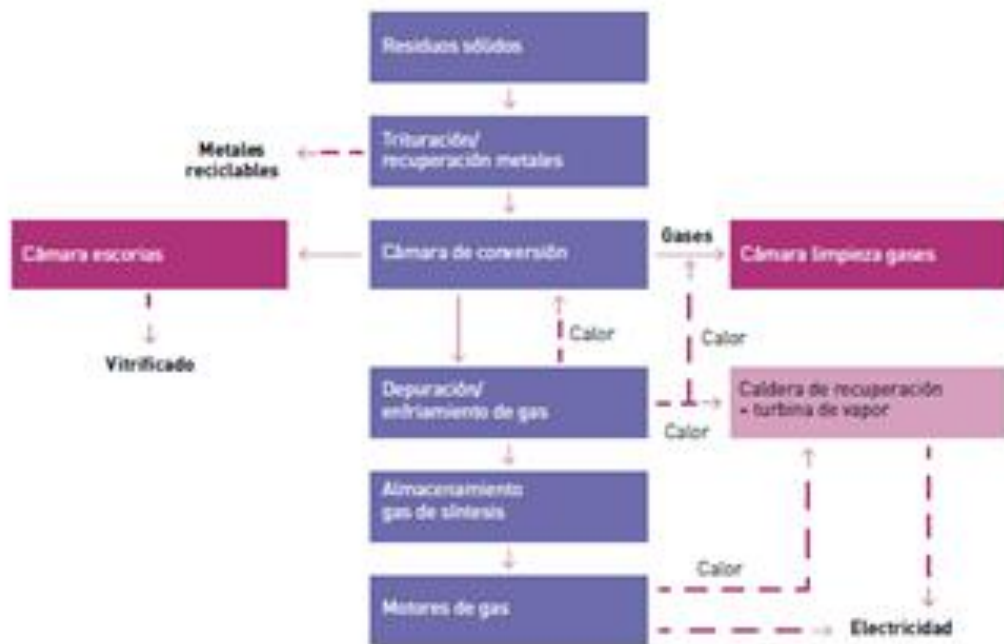
- Limitaciones de residuos tratables.
- La necesidad de un pretratamiento exigente para la reducción de inertes y de humedad.
- Requiere un buen control de la operación.
- La formación de alquitranes en el gas producido.
- La necesidad de limpieza del gas.

4.3.4 Plasma

El plasma es un estado de la materia, formado a partir de un gas sometido a altas temperaturas y en el cual prácticamente todos los átomos han sido ionizados. El resultado es un fluido formado por una mezcla de electrones, iones y partículas neutras libres, siendo en conjunto eléctricamente neutro, pero conductor de la electricidad.

Las características que definen este proceso son las siguientes:

- La generación de plasma se realiza al hacer fluir de un gas inerte a través de un campo eléctrico existente entre dos electrodos, formándose el denominado
- arco de plasma.
- Las temperaturas de trabajo varían entre 4.000 °C y 14.000 °C.
- En el seno del gas se producen las siguientes reacciones:
 - Disociación de átomos.
 - Pérdida de electrones de las capas externas.
 - Formación de partículas cargadas positivamente.



Fuente : IDAE (2011)

Figura 4.3. Esquema proceso de gasificación por plasma.

El fundamento del proceso es el siguiente:

- Si un gas se halla en las condiciones anteriores y se introduce en un campo eléctrico se generará una corriente eléctrica, formada por los electrones libres dirigiéndose al polo positivo del campo eléctrico, y las partículas positivas hacia el negativo. Esta corriente eléctrica determina una resistividad y, por tanto, una transformación en calor que depende de la intensidad eléctrica. De este modo, aumentando la intensidad del campo eléctrico se aumenta: la intensidad electrónica y catiónica, la transformación en calor y la temperatura del gas.

Este proceso tiene como límite práctico la resistencia mecánica y térmica de los electrodos. El plasma, como método térmico para el tratamiento de residuos, presenta tres posibilidades:

- Tratamiento de gases peligrosos, los cuales se someten a las temperaturas de trabajo, destruyendo así su estructura molecular. Un ejemplo claro, es la aplicación para la destrucción de PCBs³, dioxinas, furanos, pesticidas, etc.

- Vitricación de residuos peligrosos, tanto para los residuos orgánicos, destruyendo su estructura molecular, como para los inorgánicos, mediante la fusión de los mismos dentro de una masa vítrea.
- Después de enfriar y solidificar la masa fundida, los residuos permanecen físicamente capturados dentro de la masa vítrea, y por tanto se convierten en un sólido inerte, minimizando sus posibilidades de lixiviación.
- Gasificación por plasma, en la que se utiliza como fuente de calor la energía térmica contenida en el propio plasma a partir de la energía (normalmente eléctrica) consumida para la generación del mismo. De esta forma, se obtiene como productos finales:
 - Gas, compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno.
 - Residuo sólido, consistente en una escoria inerte generalmente vitrificada.

La gasificación por plasma, presenta ventajas respecto a la gasificación auto térmica, en cuanto a recuperación energética:

- Al trabajar a mayores temperaturas, se reduce la cantidad de carbono en escorias y la generación de alquitranes, por lo que las pérdidas energéticas en términos de PCI son menores.
- Al generarse una menor cantidad de gases, (menor cantidad de CO₂ y de N₂), la energía necesaria para las etapas de depuración y compresión del gas crudo, serán también menores.
- La utilización de combustibles complementarios, como coque, aumentaría el PCI del gas de síntesis, por su mayor facilidad de gasificación y aportación de CO.
- Al vitrificar las escorias, se produce una pérdida adicional de energía, tanto en la extracción directa de energía del reactor como por la necesidad de mantener temperaturas muy elevadas.

En cuanto a la valorización del gas de síntesis obtenido en la gasificación por plasma, se puede realizar por medio de ciclos térmicos combinados de turbina de gas y de vapor o por motores de gas.

Los tecnólogos describen rendimientos teóricos de obtención de energía eléctrica, superiores al 50%, en el primer caso, y entorno al 35% en el caso de los motores de gas.

Residuos más apropiados

Como resultado de las pruebas realizadas en planta piloto, algunas fuentes aseguran que esta tecnología podría llegar a tratar una amplia variedad de los residuos sólidos urbanos, residuos industriales, biomasa, residuos sanitarios, de desguaces de vehículos, llantas, plásticos, residuos especiales, etc., aunque no todos ellos están probados al mismo nivel.

A diferencia de la gasificación y la pirólisis, en esta tecnología también se incluyen, residuos con alto contenido de compuestos inorgánicos e inertes, de humedad, e incluso de valores de PCI reducidos, por la posibilidad de aportación energética externa. Sin embargo, esta misma aportación energética es la que implica limitaciones en rentabilidad económica. Para evitar un coste excesivo se debe tratar residuos de alto PCI, de bajo contenido en volátiles, impurezas y humedad. Así pues, se requiere un pretratamiento en el que se reduzca la cantidad de inertes y humedad, así como una homogeneización del tamaño de partícula de los residuos, tal y como se realiza en los procesos de gasificación y pirólisis.

Ventajas/Inconvenientes

La gasificación por plasma de los residuos es la aplicación más novedosa de todas las presentadas. Existen dos referencias a nivel mundial de aplicación de este tipo de tecnología para el tratamiento de los residuos: la planta de Eco-Valley, de Hitachi Metals Ltd., y la planta de Trail Road, del grupo Plasco Energy.

Estas plantas aún están en fase de pruebas y la disponibilidad de datos de explotación también es escasa para permitir establecer conclusiones sobre su eficiencia energética y su rentabilidad económica.

Sin embargo, a nivel teórico se citan las ventajas que presentaría esta tecnología:

- Reducción de la cantidad de carbono en las escorias y de la generación de alquitranes, por lo que conlleva menores pérdidas de PCI.
- Menor depuración y acondicionamiento del gas.
- Mayor rendimiento energético que en la gasificación.

Los inconvenientes serían:

- Al vitrificar las escorias, se produce una pérdida adicional de energía, tanto en la extracción directa de energía del reactor como por la necesidad de mantener temperaturas muy elevadas.
- Es una tecnología en fase de pruebas.

4.4. La vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica es un proceso organizado, selectivo y sistemático, para captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento con el fin de tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios. (Palop 1999).

Según Callon & Penan (1995), el objetivo de la vigilancia consiste en proporcionar buena información a la persona idónea en el momento adecuado. Así, la vigilancia tecnológica tiene como objetivo la obtención continuada y el análisis sistemático de información de valor estratégico sobre tecnologías y sus tendencias previsibles, para la toma de decisiones empresariales.

Una buena vigilancia tecnológica debe permitir conocer: (i) Las tecnologías en que se está investigando, las que se han publicado y las que se han patentado, en una determinada área, (ii) Las soluciones tecnológicas disponibles, (iii) Las tecnologías emergentes que están apareciendo, (iv) La dinámica de las tecnologías, es decir aquellas tecnologías que se están imponiendo y las otras que están quedando obsoletas, (v) Las líneas de investigación y las trayectorias tecnológicas de las principales empresas que compiten en el área, (vi) Los centros de investigación,

equipos y personas líderes en la generación de nuevas tecnologías, capaces de transferir tecnología.

4.4.1. Metodologías de la vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica es una herramienta indispensable para la competitividad en las organizaciones, y debe tenerse en cuenta que para realizarla se necesita una metodología a seguir. La aplicación de dicha metodología requiere el establecimiento de un proceso de planeación, seguimiento, medición, análisis y mejora, en el cual se determinen las acciones necesarias para optimizar su desempeño.

La etapa de planeación comprende la identificación de necesidades y fuentes de información. El objetivo de la etapa de búsqueda y captación es la identificación y determinación de los recursos disponibles, la cual contiene actividades como: *observar, descubrir, buscar, detectar, recolectar y captar*. En la siguiente etapa, se analiza, trata y almacena la información. Luego se le da un valor añadido a la información, buscando incidir en la estrategia de la organización; y, por último, se comunica a los directivos de la organización, se difunde la información y se transfiere el conocimiento.

También debemos tener en cuenta que tipo de vigilancia pretendemos tener y según sean Ocasional o Permanente las fases van a cambiar:

Las fases de una vigilancia ocasional son las siguientes: (i) Definición del problema, (ii) Identificación de las fuentes, (iii) Búsqueda, (iv) Análisis, (v) Validación de la Información, (vi) Elaboración de un Informe.

Las fases de una vigilancia permanente, incluyen: (i) Definición de los factores críticos de vigilancia, (ii) Identificación de las fuentes de información, (iii) Identificación de las personas/grupos receptores de esa vigilancia, (iv) Búsqueda periódica y análisis, (v) Envío de la información o elaboración de informes si es necesario.

4.4.2. Herramientas de búsqueda para la vigilancia tecnológica

Los volúmenes de datos, informaciones y conocimientos que se almacenan en grandes bases permiten una exploración mediante diferentes opciones de búsqueda, entre las que están:

Minería de texto: se refiere al examen de una colección de documentos y el descubrimiento de información no contenida en ningún documento individual de la colección; en otras palabras, trata de obtener información sin haber partido de algo.

La Minería de texto consiste en la búsqueda a partir de técnicas de aprendizaje automático de regularidades patrones que se encuentran dentro de un texto. Las aplicaciones de la minería de textos se utilizan principalmente para: (i) Extraer información relevante de un documento, (ii) Agregar y comparar información automáticamente, (iii) Clasificar y organizar documentos según su contenido, (iii) Organizar depósitos para búsqueda y recuperación, (iv) Clasificar textos e indizarlos en el Web.

Minería de datos: Es un mecanismo de explotación, consistente en la búsqueda de información valiosa en grandes volúmenes de datos.

4.5. Criterios de evaluación y selección de alternativas de aprovechamiento y valorización material y energética del residuo llantas de desecho.

4.5.1. Método de los factores ponderados para selección de alternativas

El método consiste en realizar un análisis cuantitativo, comparando entre sí las diferentes alternativas de aprovechamiento, de valorización material y energética del residuo, para seleccionar la más óptima, tomando en cuenta la influencia e importancia de los factores considerados como los más determinantes en el proceso de evaluación y selección de alternativas. Los factores de mayor incidencia en cada una de las alternativas de aprovechamiento y valorización material y energética del residuo, son los siguientes:

Factores económicos

- Monto de la inversión: activo fijo, capital de trabajo, activo circulante, gastos peroperatorios.

- Fuentes de financiamiento: interno, externo.
- Costos de producción
- Gastos de administración y venta, financieros, comercialización a puesta en marcha del proyecto
- Ingresos por venta del producto
- Rentabilidad económica.

Factores tecnológicos

- Intensidad de uso de capital y trabajo
- Disponibilidad de la tecnología
- Difusión actual de la tecnología
- Requerimiento de energía y agua de proceso
- Posibilidad de futuros desarrollos
- Seguridad y peligro de contaminación involucrada
- Controles del medio ambiente

Factores ambientales

- Afectaciones a la salud humana y ecosistemas.
- Contaminación de agua, aire y suelo.
- Contaminación del suelo
- Generación de residuos
- Ruido
- Uso del suelo

Factores sociales

- Participación de productores: importadores, distribuidores, comercializadores
- Generación de fuentes de empleo
- Contribución a la mejora de la calidad de vida del personal del sector de reciclaje informal.

4.5.2. Indicadores económicos para la selección de alternativas de aprovechamiento, valorización material y valorización energética del residuo.

Los indicadores económicos en un proyecto facilitan y guían el proceso de toma de decisiones para seleccionar entre las diferentes alternativas de un proyecto, la más conveniente según los tomadores de decisiones. Estos indicadores recogen e incluyen las dimensiones económicas y financieras. Son elementos fundamentales para la toma de decisiones, aunque estos no definen la decisión. Son las autoridades y/o responsables a cargo del proyecto quienes consideran estos indicadores en conjunto con otros elementos de tipo estratégico, político e incluso el riesgo, para seleccionar la alternativa correspondiente, que más se ajusta a sus necesidades. Los indicadores de rentabilidad son:

Valor Presente Neto - VPN

Es el método más utilizado para evaluar inversiones, que implican ingresos y costos. Tal método consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo - que se muestran en la Figura 4.4, que genera el proyecto y compara esta equivalencia con la inversión inicial.

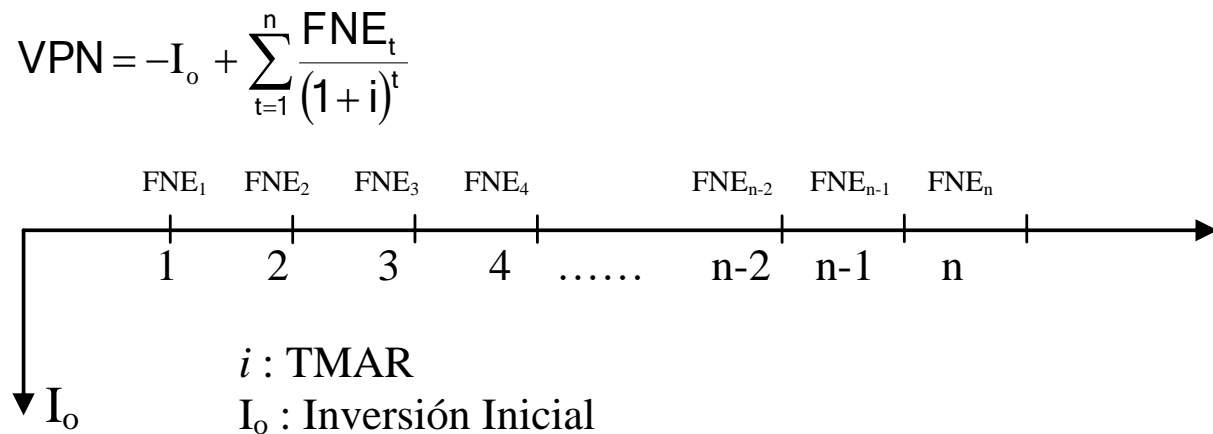


Figura 4.4. Flujo Neto de Efectivo en el tiempo.

Para proyectos individuales

Si:	$VPN > 0$	Se acepta el proyecto
	$VPN = 0$	Se acepta, pero la decisión depende del inversionista
	$VPN < 0$	Se rechaza el proyecto

Cuando se comparan diferentes alternativas de proyectos, se acepta el proyecto cuyo valor de VPN sea mayor, siempre y cuando sea mayor de cero.

El método del Valor Presente Neto es muy utilizado por dos razones, la primera porque es de muy fácil aplicación y la segunda porque todos los ingresos y egresos futuros se transforman a dinero de hoy y así puede verse, fácilmente, si los ingresos son mayores que los egresos. Cuando el VPN es menor que cero implica que hay una pérdida a una cierta tasa de interés o por el contrario si el VPN es mayor que cero se presenta una ganancia. Cuando el VPN es igual a cero se dice que el proyecto es indiferente.

La condición indispensable para comparar alternativas es que siempre se tome en la comparación igual número de años, pero si el tiempo de cada uno es diferente, se debe tomar como base el mínimo común múltiplo de los años de cada alternativa. En general, el VPN disminuye a medida que aumenta la TMAR, como se muestra en la Figura 4.5.

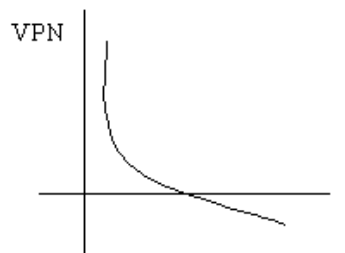


Figura 4.5.- Comportamiento del VPN vs TMAR.

En consecuencia, para el mismo proyecto puede presentarse que a una cierta TMAR, el VPN puede variar significativamente, hasta el punto de llegar a rechazarlo o aceptarlo según sea el caso.

Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VPN) es igual a cero. El VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente.

La Tasa Interna de Retorno es el tipo de descuento que hace igual a cero el VPN:

$$VPN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=n} \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Donde FNE_n es el Flujo de Caja en el periodo n .

La TIR es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida.

Plazo de recuperación.

La metodología del Periodo de Recuperación (PR), es otro índice utilizado para medir la viabilidad de un proyecto, que ha venido en cuestionamiento o en baja. La medición y análisis de este le puede dar a las empresas el punto de partida para cambiar sus estrategias de inversión frente al VPN y a la TIR.

El Método Periodo de Recuperación basa sus fundamentos en la cantidad de tiempo que debe utilizarse, para recuperar la inversión, sin tener en cuenta los intereses. Es decir, que, si un proyecto tiene un costo total y por su implementación se espera obtener un ingreso futuro, en cuanto tiempo se recuperará la inversión inicial.

Al realizar o invertir en cualquier proyecto, lo primero que se espera es obtener un beneficio o unas utilidades, en segundo lugar, se busca que esas utilidades lleguen a manos del inversionista lo más rápido que sea posible, este tiempo es por supuesto determinado por los inversionistas, ya que no es lo mismo para unos, recibirlos en un corto, mediano o largo plazo, es por ello que dependiendo del tiempo es aceptado o rechazado.

Este parámetro orienta la liquidez de una inversión, es decir, sobre la facilidad o rapidez de conversión en dinero. Se calcula mediante la siguiente igualdad:

$$P = \sum_{t=1}^k \frac{At}{(1+i)^t}$$

P: inversión inicial

At: flujo neto de caja de cada año

Desde $t = 1$ hasta $t = k$.

i : tasa de interés

Se determina k de tal manera que t :

período

satisfaga la ecuación donde:

k : año en que se piensa recuperar la inversión

V. Análisis y presentación de resultados

5.1. Diseño Metodológico.

El presente trabajo es una investigación aplicada, está dirigida al estudio del aprovechamiento del residuo llantas de desecho en calidad de combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica para uso industrial y/o residencial.

Es una investigación predictiva, combinada con elementos de las investigaciones descriptivas y explicativas, dado que en esta investigación se describe y se explican los procedimientos y técnicas aplicadas en los procesos térmicos para obtener combustibles de las llantas de desecho y determina la rentabilidad esperada del aprovechamiento de este residuo para la generación de energía térmica y/o eléctrica, proponiendo alternativas de solución a la problemática técnica, económica, ambiental y de salud pública que genera este residuo.

El universo de estudio de esta investigación, estuvo conformado por el Municipio de Managua, que abarca a su población, su flota vehicular y el residuo llantas de desecho.

Las propiedades físicas, químicas y tecnológicas de las llantas de desecho, se establecieron con información brindada por las empresas importadoras y comercializadoras a partir de información que el fabricante les entrega, la cual fue completada con la información obtenida de las búsquedas y consultas bibliográficas citadas en el correspondiente acápite.

La cuantificación de la generación del residuo, se determinó utilizando:

- La información proporcionada por la Dirección de Seguridad de Transito de la Policía Nacional y los anuarios estadísticos 2007-2017 del INIDE, relacionados con el parque vehicular del país, y específicamente de Managua, estableciendo el tipo de vehículo y la cantidad existente para cada año de referencia.
- Con el Software de modelación y simulación HDM-III-VOC del Banco Mundial, para el tráfico vehicular de Managua, utilizado para el diseño y mantenimiento de carreteras se determinaron el tiempo de uso anual y vida útil de las llantas de los vehículos que circulan en el Municipio de Managua, con el cual se esta-

bleció el factor de cambio de llantas o de generación de llantas de desecho, según el tipo de vehículo, tiempo de uso, estado actual de las vías de circulación del Municipio de Managua.

- Se consideró que aproximadamente un 5% de las llantas que se sustituyen durante el año, se rencauchan.
- El programa de simulación realiza un ajuste del número de llantas para cada vehículo, según las condiciones y estado de las calles y carreteras del Municipio de Managua.

El estado actual del tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho para su aprovechamiento y uso como combustible en la generación de energía térmica y eléctrica para Nicaragua, se realizó conforme las siguientes etapas, conforme el ciclo de vida del producto y de sus residuos, que fueron:

- Producción/Importación de llantas nuevas y/o usadas.
- Recolección y transporte de llantas usadas.
- Valorización material: Incluye el reciclaje del residuo, el rencauchado de las llantas que aún pueden usarse, su re-uso sin utilizar procedimientos de transformación y el tratamiento para la obtención de materiales: caucho, acero y textiles, que sirven de materia prima para la elaboración de otros productos.
- Valorización energética: uso como combustible alterno.
- Disposición final del residuo.

De previo se identificaron los actores, que participan en las diferentes etapas de la gestión de las llantas de desecho y en las actividades que integran este proceso y que son:

- Productores/Importadores, generadores, gestores, reguladores y fiscalizadores de la gestión del residuo.
- Las técnicas y procedimientos utilizados por los productores, generadores y gestores de los residuos relacionados con el reúso, reciclaje, tratamiento y disposición final del residuo

- Se realizaron visitas técnicas a los vertederos municipales, para identificar los procedimientos y técnicas que emplean la administración municipal para el tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho.

Se analizó el estado del arte de las tecnologías para el tratamiento, disposición final, aprovechamiento y valoración material y energética del residuo. Para ello se consultó a proveedores nacionales y extranjeros de este tipo de tecnología para determinar principios de funcionamiento, parámetros de operación, capacidades de producción, consumo energético, costos de adquisición, condiciones de mantenimiento, tiempo de vida útil, generación de residuos, afectaciones ambientales, ventajas y desventajas entre las distintas tecnologías.

Se aplicaron también, los métodos, procedimientos, técnicas y herramientas de la vigilancia tecnológica, realizando búsqueda de tecnologías nuevas, patentes, investigaciones terminadas y en proceso para el caso de una vigilancia ocasional, consultando diversas bases de datos internacionales e información en sitios web especializados destinadas para este fin.

Las bases de datos consultados con sus correspondientes resultados se muestran a continuación en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Resultados de búsquedas y consultas de tecnologías y aplicaciones para el aprovechamiento, valorización material y energética del residuo llantas de desecho.

Base de Datos	Documento	No	Sentencias de búsqueda
Current Contents Wok	Artículos	142	(Tire*OR Tyre*) AND recycl*
Science	Artículos	122	(Tire*OR Tyre*) AND recycl*
PATLIB-Espacenet	Patentes	120	(Tire*OR Tyre*) AND recycl*
Derwent Innovation Index WoK	Patentes	154	(Tire*OR Tyre*) AND recycling AND apparatus OR Machine AND (asphalt OR cement).
Oaister	Tesis Doctorales	3	(Tire OR Tyre) AND recycl*
BOE	Ley, Plan Nacional, Real Decreto	4	Llantas
Europa.eu.int	Directivas	2	Llantas
CORDIS	Proyectos I+D	13	(Tire OR Tyre) AND recycl*

Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron cuatro alternativas para el aprovechamiento y valorización energética del residuo para la producción de combustible y la generación de energía para uso industrial y/o residencial, orientadas a optimizar los procesos de gestión del residuo, para incidir en la minimización de aquellos volumen de llantas que pasen a la etapa de disposición final, y contribuir a prevenir y mitigar las afectaciones al ambiente y a la salud de la población, provocados por una disposición final inadecuada. Estas alternativas incluyen información sobre los costos, la facilidad de implementación - utilización de tecnología existente o modificación de prácticas operacionales -, el nivel de mitigación - eliminación o reducción - de las afectaciones e impactos negativos, la posibilidad de ahorros - conservación de recursos o reducción de los costos de disposición final de los residuos.

Cada alternativa, fue valorada por medio del método de los factores ponderados en conjunto con los indicadores económicos de rentabilidad de las inversiones.

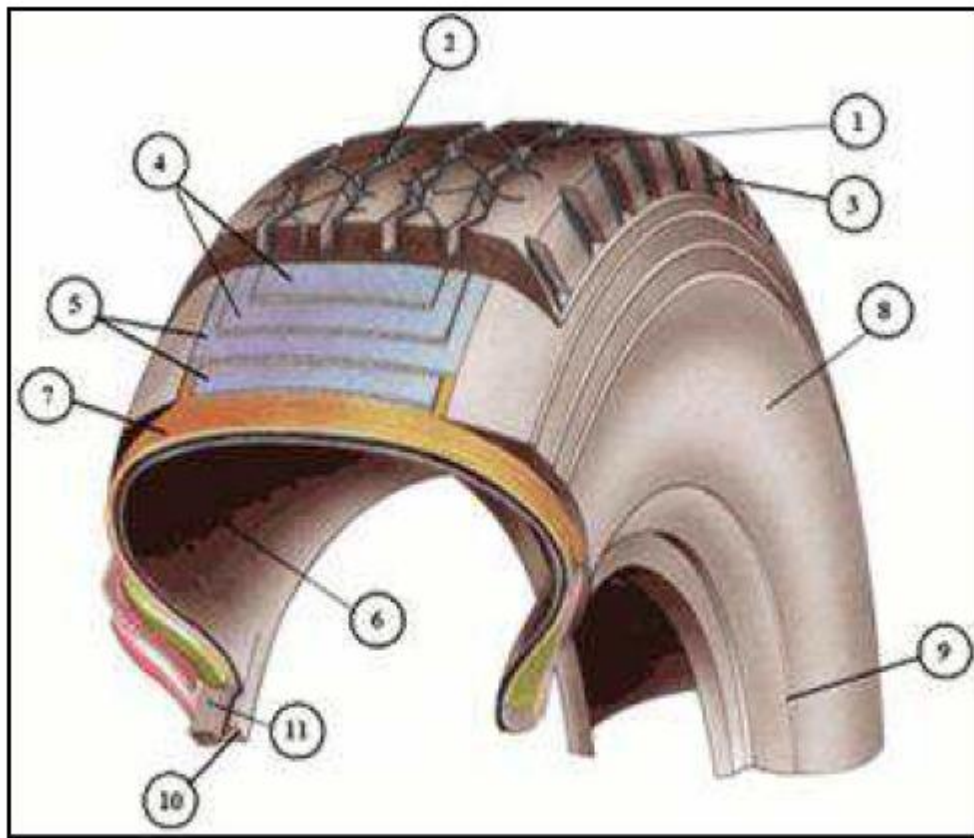
El procedimiento aplicado consistió en los siguientes pasos:

- 1º. Se determinó una relación de los factores relevantes para la evaluación y selección de alternativas.
- 2º. Se asignó un peso a cada factor que refleje su importancia relativa.
- 3º. Se fijó una escala a cada factor de 0 a 100 puntos.
- 4º. Se evaluó cada alternativa considerando los pesos de cada factor seleccionado.
- 5º. Se multiplicó la puntuación por los pesos para cada factor y obtener el total para cada alternativa.
- 6º. Se selección la alternativa que obtuvo la mayor puntuación y mejores resultados para los indicadores económicos: VPN, TIR, Periodo de recuperación.

5.2. Propiedades físicas, químicas y tecnológicas de las llantas de desechos para su uso como combustibles en la generación de energía térmica y eléctrica.

La caracterización de las propiedades físicas, químicas y tecnológicas de las llantas de desecho, se han determinado sobre la base de información técnica revisada a nivel nacional e internacional y su validación por parte de las empresas del rubro.

5.2.1. Estructura de una llanta.



Fuente: UNEP/CHW 9/18 (2008).

Figura 5.1. Partes componentes de una llanta.

Las partes principales que componen una llanta muestran en la Figura 5.1 y son las siguientes:

(1) Banda de rodamiento: superficie que está normalmente en contacto directo con el suelo, proporciona tracción, durabilidad y capacidad de frenado, debiendo resistir la abrasión y el desgaste.

(2) Surco: espacio comprendido entre dos resaltes adyacentes en la banda de rodadura.

(3) Lateral: es la parte de una llanta entre la banda de rodamiento y la pestaña de la llanta.

(4,5) Tela: corresponde a una o más capas de cuerdas paralelas revestidas con goma material bajo de la banda de rodamiento.

(6) Capa interna: corresponde a la o las capas impermeables al aire y a la humedad que forman la superficie interior de una llanta tubular y que mantienen el medio de inflado del llanta.

(7) Carcasa: estructura del llanta formada por cuerdas impregnadas con caucho que incluye la pestaña y soporta la presión de inflado. Encargadas de amortiguar los golpes. Puede ser de acero, dependiendo de la llanta.

(8) Ancho de sección: corresponde a la mayor distancia lineal entre la parte exterior de los laterales de una llanta inflado, excluyendo sobre relieves debidos a marcas, decoraciones o ribetes de protección

(9) Cinturón: capa formada por dos o más telas, colocadas bajo la banda de rodamiento que refuerza circunferencialmente la carcasa y que tiene por objeto dar estabilidad a la banda de rodamiento y absorber los golpes.

(10) Pestaña: parte de la llanta diseñada para adaptarse a la llanta, constituida por alambres de acero revestidos con goma dispuestos circunferencialmente y envueltos por telas. Su función es amarrar la llanta a la llanta y tener alta resistencia a la rotura. A mayor resistencia de la pestaña mayor capacidad de carga tendrá la llanta.

(11) Chafer: material en el área de la pestaña que protege la carcasa de abrasión por el giro de la llanta.

Paredes laterales: Es la parte de la estructura que va de la banda de rodamiento hasta el talón, siendo revestida por un compuesto de caucho con alta resistencia a la fatiga por flexión.

5.2.2. Propiedades químicas de una llanta.

De acuerdo a Lund (1998), las llantas corresponden al elemento elástico de las ruedas de los vehículos que actúa como una envoltura y que contiene aire a presión, la cual tiene por objeto soportar las cargas que actúan sobre el vehículo y transmitir al terreno las fuerzas necesarias para el movimiento.

La llanta está compuesta principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil. A su vez, el caucho usado en la fabricación de llantas está compuesto por polímeros, entre los que se cuentan, entre otros, el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común el estireno-butadieno, todos basados en hidrocarburos.

Se agregan además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que aumentan la trabajabilidad del caucho, antes de la vulcanización; óxido de zinc y de magnesio, comúnmente denominados activadores, pues son mezclados para reducir el tiempo de vulcanización de varias a horas a pocos minutos; antioxidantes, para dar mayor vida al caucho sin que se degrade por la acción del oxígeno y el ozono; y finalmente negro de humo, especie de humo negro obtenido por combustión incompleta de gases naturales, que entrega mayor resistencia a la abrasión y a la tensión.

El caucho natural (cis-poliisopreno), se extrae comercialmente a partir del látex del árbol *Hevea brasiliensis*. La materia prima del caucho natural es un líquido lechoso denominado látex. La estructura de la goma natural es principalmente cis-poli (1,4-isopreno), un polímero de cadena larga, mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas además de otros componentes. Los componentes y características de los diferentes tipos de llantas se presentan en la Tabla 5.2.

Las llantas para camión contienen una mayor proporción de caucho natural en relación con el caucho sintético que las llantas para automóvil. La composición de caucho podría obedecer al hecho de que las llantas para automóviles de pasajeros tienen que

satisfacer normas de calidad más elevadas a fin de competir con éxito en el mercado. Las llantas de camión y de vehículos todos terrenos, en cambio, deben soportar cargas más pesadas y recorrer mayores distancias, y no desplazarse a alta velocidad.

Tabla 5.2. Componentes y características de los diferentes tipos de llantas.

Material	Automóviles % en peso	Camiones % en peso
Caucho/elastómeros	48	45
Negro de humo y sílice	22	22
Metal	15	25
Material Textil	5	-
Óxido de Zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	

Fuente: Adaptado de Hylands y Shulman (2003).

Las llantas de camiones y buses contienen una mayor proporción de caucho natural, en relación con el caucho sintético (camión 65% caucho natural, 35% caucho sintético) con el objeto de controlar mejor la generación de calor; en vehículos de pasajeros la proporción normalmente es de 25% caucho natural y 75% sintético).

La combinación de cauchos naturales y sintéticos, se realiza de modo de que los primeros, proporcionen elasticidad y los segundos, estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito.

La Tabla 5.3, muestra la composición química por elementos presentes en las llantas de desecho. Aproximadamente el 1,5% del peso de una llanta corresponde a elementos o compuestos clasificados en el Convenio de Basilea, como sustancias peligrosas, forman parte del compuesto de caucho o están presentes como un elemento de aleación. Estas sustancias peligrosas se presentan en la Tabla 5.4.

Tabla 5.3. Composición química elemental de las llantas de desecho.

Elemento	% en peso
Carbono	70
Hidrogeno	7
Azufre	1..3
Cloro	0,2 ... 0,6
Hierro	15
Zinc (Oxido)	2
Silicio (Dióxido)	5
Cromo	97 ppm
Níquel	77 ppm
Plomo	60...760 ppm
Cadmio	5...10 ppm
Talio	0,2...0,3 ppm

Fuente: Ramos (1997).

Tabla 5.4. Sustancias peligrosas que contienen las llantas.

Nombre químico	Observaciones	Contenido (% de peso)	Contenido * (kg)
Compuestos de cobre	Aleación constitutiva del material metálico de refuerzo (cable de acero)	Aprox. 0,02%	Aprox. 1,4 g
Compuestos de zinc	Óxido de zinc, retenido en la matriz de caucho	Aprox. 1%	Aprox. 70 g
Cadmio	En trazas, como compuestos de cadmio que aparecen con el óxido de zinc	Máx. 0,001%	Máx. 0,07 g
Plomo, compuestos de plomo	En trazas, como sustancias que aparecen con el óxido de zinc	Máx. 0,005%	Máx. 0,35 g
Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida	Acido esteárico en forma sólida	Aprox. 0,3 %	Aprox. 21 g
Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el anexo del Convenio de Basilea	Caucho de butilo halogenado	Contenido de halógenos Máx. 0,10 %	Contenido de halógenos Máx. 7 g

Fuente: Ramos (1997).

5.2.3. Propiedades físicas de las llantas.

Las llantas varían en función de su peso, su composición y uso, según se muestra en la Tabla 5.5, que contiene información sobre las categorías más comunes.

Tabla 5.5. Peso promedio de las llantas por categoría.

Clasificación	Peso promedio, Kg	Unidades/Ton.
Automóvil de pasajeros	6.5-10	154
Vehículos utilitarios	11.0	91
Camiones	52.5	19

Fuente: UNEP/CHW 9/18,2008. Adaptado de Hylands and Shulman, 2003.

5.2.4. Propiedades térmicas

Las llantas poseen excelentes propiedades de combustión en función de su alto contenido de carbono. Su valor calorífico neto es de entre 32 y 34 MJ / kg.

La Tabla 5.6, contiene información sobre el contenido energético y las emisiones de CO₂ de distintos combustibles.

Tabla 5.6. Contenido energético y emisiones de CO₂ de combustibles

Combustible	Energía (GJ/t)	Emisiones	
		kgCO ₂ /t	kgCO ₂ /GJ
Neumáticos	32,0	2.720	85
Carbono	27,0	2.430	90
Coque de petróleo	32,4	3.240	100
Aceite diésel	46,0	3.220	70
Gas natural	39,0	1.989	51
Madera	10,2	1.122	110

Fuente: Consejo empresarial mundial de desarrollo sostenible, 2005 – CO₂ Emission Factors of Fuels.

Las llantas no experimentan combustión espontánea. Un estudio llevado a cabo por el Instituto de Investigación en Construcción de Inglaterra determinó que la temperatura mínima para la ignición es de 182°C; lo cual no se logra bajo condiciones ambiente normales. Sin embargo, algunos fenómenos naturales tales como los rayos, o actos deliberados, como incendios provocados, generan condiciones que favorecen la combustión de llantas. Una vez iniciado un incendio de llantas es difícil de controlar, como resultado del calor generado.

5.3. Generación anual de llantas de desecho del sector automotriz del Municipio de Managua en el periodo del 1 ° de enero del 2014 al 31 de diciembre del 2018.

Se realizaron entrevistas a directivos y miembros de cooperativas de transporte y usuarios de vehículos tanto particulares como de carga, para establecer los correspondientes índices de generación de llantas de desecho y cuantificar la generación anual de este residuo, no obstante, la información que suministraron no fue suficiente, ni confiable. Por tal razón se hizo uso del Software de Modelación y Simulación HDM-III VOC desarrollado para el Banco Mundial y adaptado para la red vial de Nicaragua, con el cual se formuló el “Estudio del Plan Nacional de Transporte de Nicaragua”, ejecutado por el MTI y que de acuerdo con Thawat (2010), sirvió para el diseño y mantenimiento de carreteras y sus costos de operación por medio de la modelación y simulación del tráfico vehicular en la ciudad de Managua, tomando en consideración las características particulares de los vehículos tales como su estado físico, año de fabricación, tiempo y tipo de uso, velocidades de circulación, horas de trabajo del vehículo, el estado físico de las calles y carreteras, estableciendo entre otros resultados el tiempo de duración efectiva de las llantas sometidas a la carga de trabajo.

El parque vehicular de la ciudad de Managua, para los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, se estableció conforme la información suministrada por la Dirección de Seguridad de Tránsito de la Policía Nacional, el anuario estadístico del INIDE y del MTI de los años correspondientes. Con esta información, se estableció el tipo, cantidad de cada vehículo y el número de llantas que usa cada modelo. Los vehículos se ajustaron a los modelos estándar del programa HDM-III VOC y se determinan las cantidades totales de unidades de llantas en uso que se convierte en llantas de desecho, excluyendo, la cantidad reencauchable. Los métodos y procedimientos de cálculos se presentan en el Anexo I. Las cantidades de llantas de desecho (Ton/año), se presentan en el Anexo II.

En la Tabla 5.7, se presentan los índices de generación de llantas de residuo, conforme su uso y su vida útil, así como el porcentaje de llantas de desecho en peso (Ton/año), que cada tipo de vehículo generan.

Tabla 5.7. Índice de generación anual de llantas de desecho por tipo de vehículo y porcentaje en peso generados anualmente.

Ítem	Vehículo	Uso anual	Vida útil	Coeficiente	Porcentaje
		Km/año.	de una llanta	de generación	
			Km/año	de llantas de desecho	%
1	Automóviles	28000	30000	0.93	20
2	Utilitario	32000	25000	1.28	26
3	Microbús	70000	25000	2.80	5
4	Autobús	70000	25000	2.80	6
5	Camión Mediano	35000	25000	1.40	17
6	Camión Pesado	35000	25000	1.40	10
7	Camión Articulado	48000	27500	1.75	17
	Totales				100

Fuente: Elaboración propia.

Los microbuses y buses de transporte de pasajeros tienen el índice de generación de llantas de desecho más alto, realizan 2.8 cambios de llantas al año, seguido de los camiones articulados, camiones medianos y pesados, luego los vehículos utilitarios y los automóviles.

El segmento de vehículos utilitarios es el principal generador de llantas de desecho aportando un 25% del total generado, seguido del segmento de Automóviles compuestos por Taxis y vehículos particulares con 20% y el segmento de Camiones Medianos y Camiones Articulados utilizados principalmente para el transporte de materiales y mercancías generan un 16 y 18 % del total respectivamente, pero juntos generan un 34% del total , luego le siguen los Camiones Pesados con 9% y los buses y microbuses utilizados para el transporte de pasajeros generan un 7 y 4% del total de llantas de desecho, respectivamente.

En la Tabla 5.8, se presenta el crecimiento del parque vehicular en el periodo 2014-2018 y la generación de unidades de llantas de desecho en: Ton/año, Ton/día, Ton/Hora.

Al año 2018, el parque vehicular¹ del Municipio de Managua, alcanzo un total de 270,825 vehículos, generando 2,121,648 unidades de llantas usadas, de estas aproximadamente el 5 %, se destina al reencauche y el resto se considera como llantas de desecho, las cuales llegan a un peso total de 24,191.10 Ton / año, lo que equivale a 2,015.93 Ton/mes, 66.29 Ton/día y 2.76 Ton/hora.

Tabla 5.8. Llantas de desechos, generadas en el periodo 2014-2018.

Año	No Vehículos	Unidades generadas	Ton/año	Ton/Mes	Ton/día	Ton/hora
2010	178769	1387561	15979.47	1331.62	43.78	1.82
2011	185776	1438596	16458.06	1371.51	45.09	1.88
2012	194131	1504807	17251.76	1437.65	47.27	1.97
2013	204444	1589810	17900.83	1491.74	49.04	2.04
2014	217761	1695790	19138.54	1594.88	52.43	2.18
2015	218311	1697575	19329.07	1610.76	52.96	2.21
2016	258061	2007438	22660.20	1888.35	62.10	2.59
2017	262125	2057696	23514.20	1959.52	64.44	2.68
2018	270825	2121648	24191.10	2015.93	66.29	2.76

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Estado actual del tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho para su aprovechamiento y uso como combustible en la generación de energía para Nicaragua.

5.4.1. Fabricación/ Importación

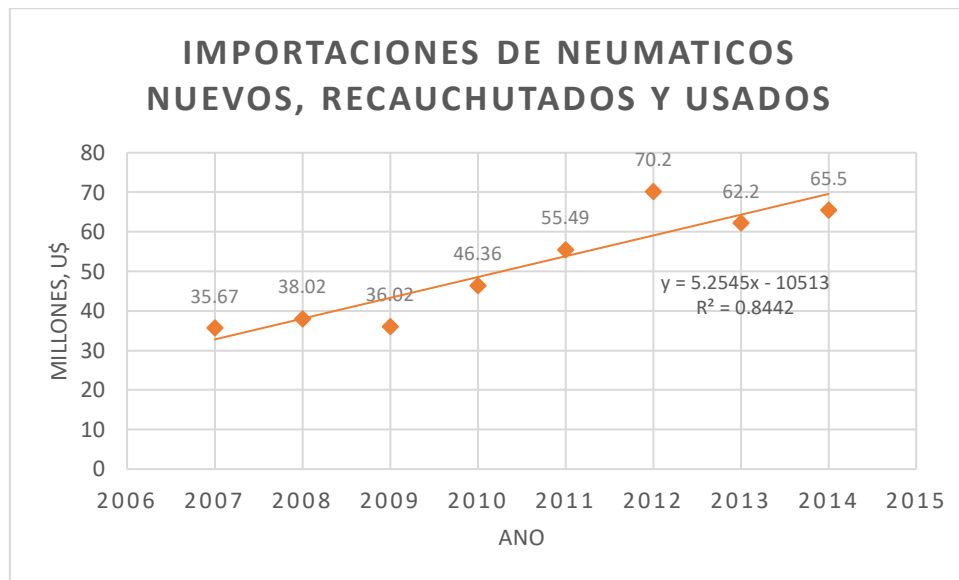
En Nicaragua, no se fabrican llantas, por lo que deben importarse de los países productores de estas. Así, ingresan al país llantas de tres categorías: llantas nuevas, llantas reencauchadas y llantas usadas.

La Figura 5.2, muestra los datos suministrados por la DGA, en el que se observa un crecimiento continuo de las importaciones de llantas desde el año 2006 hasta el año 2014, siendo un promedio del 12% anual. El 45% del total, corresponden a llantas usadas.

¹ En este caso se han excluido las motocicletas, cuatriciclos, moto taxi y bicicletas ya que las llantas de este tipo de vehículo tienen una estructura muy diferente a las llantas de los otros tipos de vehículos.

En los últimos años, la importación y comercialización de llantas ha tomado un fuerte auge en el mercado nicaragüense, principalmente por el aumento del parque vehicular.

En el 2013, según datos de la Dirección de Tránsito de la Policía Nacional, el parque vehicular del país creció un 10% y alcanzó 550 mil unidades.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2. Importaciones de llantas en el periodo 2007-2014.

Las empresas importadoras, en la mayoría de los casos, actúan a su vez, como empresas distribuidoras y comercializadoras a detalle, distribuyen estos, a los comerciantes y negocios detallistas, ubicados tanto en la Ciudad de Managua, como en las cabeceras departamentales de todo el país. Managua, por ser la ciudad capital, concentra la mayor cantidad de importadores mayoristas de llantas nuevas y usadas.

Las marcas de reconocido prestigio y mayor comercialización en el mercado nacional son: Bridgestone, Continental, Firestone, General Tire, Goodyear, Marxis, Pirelli. También ingresan al país otras marcas predominantemente asiáticas. Se demanda también llantas rencauchadas y llantas usadas, en dependencia de la capacidad económica de los usuarios. El lugar de mayor concentración de comercialización de llantas usadas, se encuentra en el Mercado Oriental, aunque en las vulcanizadoras

también se vende llantas usadas, que les quedan a estas personas cuando los usuarios realizan cambios de llantas por nuevos.

Según, el Instituto Nicaragüense de Fomento Cooperativo, (2014), las cooperativas de transporte urbano e interurbano colectivo, selectivo, carga y del Municipio de Managua, gozan de incentivos y pueden importar y comercializar autopartes, incluyendo llantas para sus agremiados.

5.4.2. Recolección, transporte y almacenamiento.

En el caso de importadores, distribuidores y demás agentes de la cadena de comercialización, en ocasiones reciben la llanta que ha sido sustituido, cuando el consumidor lo entrega al momento del cambio y lo almacenan temporalmente en sus propias bodegas, luego contratan los servicios de transportistas y los entregan a estos, quienes le dan el destino final que mejor consideren. El fabricante / importador de llantas, realmente no asume la obligación de la correcta gestión de los residuos que se generan tras el uso, y no se hace cargo de los mismos, en todo caso en el país no existen empresas con las instalaciones adecuadas para darles la gestión racionalmente ambiental que demanda el residuo. De la misma manera, se comportan las empresas industriales, de servicios, empresas y cooperativas de transporte de mercadería, de transporte colectivo y transporte selectivo, contratan los servicios de transportistas particulares a quienes les entregan las llantas de desecho y estos proceden a darle al residuo el destino final que mejor consideren.

Las instituciones del estado, recolectan y transportan las llantas de desecho con su propia flota vehicular y los almacenan en sus bodegas.

En general todos los agentes que participan en la gestión y tiene la responsabilidad de hacerse cargo del residuo para su almacenamiento, lo hacen de manera inadecuada. Los lugares de almacenamiento en muchas ocasiones no cumplen con ninguna especificación técnica, no toman en cuenta las recomendaciones relacionadas con la forma,

tamaño y distancia entre pilas de llantas, para evitar que se conviertan en refugio de fauna dañina y evitar la propagación de fuego en casos de incendios.

5.4.2.1. Selección y clasificación

El residuo se selecciona y clasifica según el nivel de uso y de desgaste a que ha sido sometido y se propone para continuar su uso como:

- **Llantas usadas:** Son aquellos que están parcialmente desgastados y pueden reutilizarse sin ningún tratamiento.
- **Llantas para reencauche:** Son aquellas, que se les podrá reemplazar la superficie desgastada de la llanta controlando el número de veces que puede rencaucharse.
- **Llantas de desecho:** Son llantas que ya no puede utilizarse para el propósito para el que se fabricó originalmente, estos cuentan con un desgaste considerable y una estructura debilitada, lo que provoca un mal desempeño para la maniobrabilidad y respuesta de agarre en condiciones tropicales, como las que experimenta la región. Una llanta en estas condiciones de desgaste puede deformarse o explotar con el mínimo golpe que reciba. En el caso de lluvia, no aseguran que corra bien el agua, causando el hidropneumático y provocando como mínimo una colisión. Además, ya no tiene las condiciones técnicas necesarias para el rencauchado, pero el material puede recuperarse cortándolo, triturándolo o moliéndolo y utilizándolo en distintas aplicaciones, como calzado, superficies para la práctica de deportes o alfombras, entre otras. Las llantas de desecho también pueden utilizarse como combustible derivado de llanta para la recuperación de energía.

5.4.2.2. Valorización material: Abarca la reutilización, el reciclaje y la obtención de nuevos materiales a partir del residuo llantas de desecho, para evitar el uso de nuevas materias primas.

Reutilización

Las llantas están formadas por diversos materiales como caucho, acero y tejidos de poliamida o poliéster lo que le confiere una estructura compleja, donde la separación de estos materiales en sus componentes originales es un proceso difícil.

La experiencia internacional en el reciclaje del residuo, ha estado dirigido al aprovechamiento en conjunto. Sin embargo, esto no ha sido un obstáculo para algunas empresas que dan un tratamiento a las llantas hasta convertirlas en materia prima para asfalto, pistas atléticas, tapetes, entre otros.

Los usos que actualmente se le dan o pueden dársele al residuo llantas fuera de uso en el país son:

Aplicaciones Directas:

- **Producción de pacas de llantas utilizadas en proyectos de obras civiles:**
En el país se emplea en la construcción de muros de contención, estabilización de taludes y estabilización de suelos en carreteras, caminos y trochas durante el invierno.
- **Otros usos:**
 - En proyectos rurales a nivel nacional se están utilizando para viveros y siembras de plantas.
 - Instalación en parques infantiles para diferentes juegos como pirámides, punto de apoyo.
 - Para delimitar terrenos o carreteras, maceteros en jardines, utensilios para alimento de aves, ganado, elaboración de calzados, rótulos direccionales.
 - Incineración a cielo abierto para extraer el acero y comercializarlo en las chatarrerías.

Recuperación de materiales para ser utilizados en otros usos

- **Producción de polvo de caucho:** Se da a escala artesanal, la llanta, es troceado, luego triturado, separando la parte textil y el acero y obteniendo polvo de caucho, el cual es fundido a una temperatura alta donde luego es moldeado. A partir de aquí se elabora algunos materiales y accesorios eléctricos como

enchufes, tomacorriente y cepos para bujías, así mismo se elaboran soporte para motores y otros equipos, que amortiguan y absorben esfuerzos y sollicitaciones mecánicas en montacargas, camiones y tractores.

- **Agregados para el pavimento asfáltico:** Esta es una alternativa con un potencial de desarrollo bastante rentable, no obstante, no se implementa en el país.

Reciclaje

Abarca el recauchutado de las llantas, los cuales una vez terminado este proceso son comercializados ya sea a nivel nacional o en el extranjero.

5.4.2.3. Valorización energética

Combustible alternativo para la generación de energía térmica para la industria del cemento y la cerámica: En el país, la única planta que produce cemento, que incluye la etapa de producción de clinker en hornos de alta temperatura, está a cargo de la empresa multinacional Cementos Mexicanos. S.A. de C.V. que por ahora no aprovecha las llantas de desecho como combustible alterno. No obstante, en plantas que operan en otros países ya lo están haciendo, y podría ser solamente cuestión de tiempo su implementación en la planta ubicada en Nicaragua y realizar los ajustes técnicos necesarios para obtener una combustión que no contamine. Por otra parte, la producción de ladrillos de cerámica para construcción conocidos popularmente como “ladrillo de cuarterón”, utiliza las llantas de desecho como combustible alterno, además de aserrín y leña. Sin embargo, la mayor problemática que se tiene en esta industria artesanal, es la baja eficiencia térmica y las emisiones gaseosas que generan al ambiente, ya que generalmente, los hornos no cuentan con sistema de aislamiento térmico y mucho menos con sistema de controles y tratamiento para los contaminantes, emitidos por la combustión de estos residuos.

Generación de energía eléctrica: Esta es una alternativa que no se implementa en el país, pero tiene también su potencial de rentabilidad económica. Las plantas térmicas de generación de energía eléctrica a base de combustible fósil, existentes en el

país, para el empleo de polvo de caucho, requieren de complejas adaptaciones tecnológicas lo que limita su utilización como recurso energético de alto poder calorífico.

5.4.2.4. Disposición final del residuo llantas de desecho.

En las condiciones actuales, no existe una disposición final adecuada del residuo llantas de desecho, dado que ninguna de las entidades del estado facultadas por la ley para regular la gestión de este residuo, cumple con sus obligaciones, ni aplica, ni hace cumplir la legislación ambiental ya sea por conflictos de competencia, falta de recursos técnicos, económicos y humanos. Así también, los importadores, distribuidores y comercializadores no asumen ninguna responsabilidad para gestionar de forma racionalmente este residuo. En el proceso de entrevistas, se estableció que las empresas dedicadas a la distribución y comercialización de llantas, reciben las llantas sustituidos por parte del consumidor, y estos contratan a transportistas para deshacerse de estos residuos, quienes a su vez se deshacen de este residuo, lanzándolo en los vertederos de la ciudad, en cauces, en terrenos baldíos, en basureros clandestinos, almacenándolo en los patios de las viviendas o reposando a cielo abierto. En el basurero municipal, por las noches, los recicladores, realizan quemas de llantas, para extraer el acero y luego comercializarlo en los puestos de compra de chatarra a vista, paciencia y pleno conocimiento de las autoridades que administran este vertedero municipal.

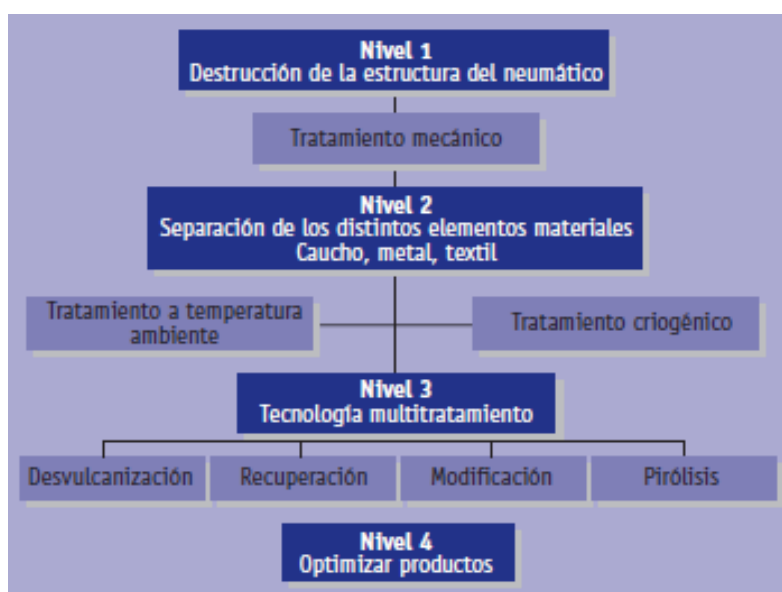
5.5. Tecnologías para el tratamiento, disposición final y aprovechamiento como combustible en la generación de energía de las llantas de desecho.

Existen varios tipos de tecnologías empleadas para la recuperación y/o reciclaje de las llantas de desecho, según el destino que se le vaya a dar, se empleará una o varias tecnologías.

La Asociación Europea de Reciclaje de Neumáticos (2003), establece que dependiendo de la aplicación que se les dé a las llantas de desecho, se emplea un nivel,

varios o todos los niveles. En la Figura 5.3, se presenta la clasificación de las diferentes tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento.

En la Tabla 5.9, se proporciona un resumen de los materiales obtenidos, dimensiones (mm) y tecnologías más empleadas. El término “Todos”, se refiere a las fuentes que incluye; llantas de camión y automóvil, llantas enteros de camión y automóvil, cámara de aire del llanta, mezcla de llantas automóvil/camión y otros llantas.



Fuente: ETRA (2003)

Figura 5.3. Niveles de tratamiento de llantas de desecho.

Tabla 5.9. Caracterización de los productos obtenidos según las tecnologías empleadas.

Producto	Tamaño	Fuente	Tecnología
Llanta entero (W)		Llanta entero automóvil-camión	Mecánica (M)
Trozos (X)	> 300 m	Todos	Mecánica (M)
Tiras (S)	50-300 mm	Todos	Mecánica (M) / reducción a T-ra ambiente(A).
Astillas (C)	10-50 mm	Todos	Mecánica (M) / reducción a T-ra ambiente(A).
Granulado (G)	1-10 mm	Todos	Mecánica (M) / reducción a T-ra ambiente(A)/ criogénico (C)
Polvo (P)	< 1 mm	Todos	Reducción a T-ra ambiente (A)/ criogénico (C).

Polvo fino (F)	< 500um	Todos	Reducción a T-ra ambiente (A)/ criogénico (C)/ recuperación (R) / Desvulcanización (D)
Buffins (B)	0-40 mm	Llantas pisados	Buffing (B)
Recuperado (R)	Normalmente se suministra en bloques	Todos y granulado	Recuperación (R)
Desvulcanizado (D)	Depende del tamaño del polvo	Polvo de todas las fuentes.	Reducción a T-ra ambiente (A)/ criogénico (C)/ Desvulcanización (D)
Pirolítico (Y)	< 10 mm	Todos	Pirolisis (P)/ Buffing (B)/ Reducción criogénica (C).
Productos de carbón (Z)	< 500 um	Pirolítico	Otras tecnologías (O)

Fuente: ETRAN (2008).

5.5.1. Tecnologías para el tratamiento, aprovechamiento por medio de la valorización material de las llantas de desecho.

5.5.1.1. Rencauchado

El recanalado es un paso intermedio, antes de convertirse en residuo, que consiste en remarcar el dibujo primitivo en aquellas llantas que no han perdido más del 75% de su profundidad original.

Sin embargo, la reutilización más frecuente del residuo, es su rencauche, aprovechando la carcasa metálica que ha de revestirse de caucho con unas características en consonancia con el destino de la llanta. No obstante, dado que la carcasa sufre fatiga y deterioro a lo largo de su vida y debido a las exigencias en las normativas de calidad² de las llantas el número de rencauches permitidos para una llanta es limitado y dependerá de la superación con éxito de los ensayos de carga y velocidad establecidos en las normas de calidad y seguridad³ correspondiente. Actualmente son recauchutados las llantas de camión y avión, pero no los procedentes de automóviles o camiones pequeños.

El proceso de recauchutado consiste en sustituir las gomas viejas del llanta y reconstruir su estructura original convirtiéndolo en una llanta de características similares al nuevo.

² Reglamentos 108, 109 de las Naciones Unidas sobre llantas recauchutadas.

³ Reglamentos 30 y 54 de Ginebra

Atendiendo a la superficie renovada se pueden distinguir 3 sistemas;

- Rencauchado integral; se renueva la banda de rodamiento y los flancos.
- Rencauchado semi-integral; se renueva la banda de rodamiento y parte del flanco.
- Rencauchado sólo de la banda de rodamiento.

Atendiendo al sistema de adhesión de las nuevas gomas se pueden distinguir 2 tipos:

- Rencauchado en caliente; el proceso de vulcanización se realiza en prensas a una temperatura comprendida entre 150-160 °C.
- Rencauchado en frío; la banda de rodamiento está previamente vulcanizada y se adhiere mediante una goma (unión), vulcanizándose en autoclaves a una temperatura comprendida entre 98-125°C.

El Rencauchado es probablemente uno de los caminos más sensibles para prevenir la acumulación de las llantas de desechos en los vertederos. Un aspecto positivo del reencauchado es el hecho de que para la fabricación de una llanta nueva se necesitan 32 litros de crudo, mientras que el reencauchado necesitarían 11 litros, en llantas de camiones se pasa de 100 a 32 litros de crudo. Por lo que produce una reducción de coste de material prima entre 30-50%. ETRA (2008)

5.5.1.2. Tratamientos mecánicos.

Muchas de las posibles aplicaciones de las llantas de desecho, requieren de una trituración previa hasta el tamaño adecuado al uso específico que se le vaya a dar. Este proceso normalmente se realiza a través de trituradoras formadas por dos o más ejes paralelos de cuchillas que giran a distintas velocidades para favorecer la incorporación del llanta. La separación de los ejes define el tamaño de los trozos conseguidos. La utilización de este tipo de trituradoras es un paso previo a la molienda, en los vertederos o centros de recogida para disminuir el volumen de las llantas.

5.5.1.3. Tecnologías de reducción de tamaño

Los tres mayores procesos empleados para producir polvo de caucho son la molienda mecánica a temperatura ambiente, la molienda criogénica y la molienda húmeda. El polvo de caucho también se puede obtener mediante buffings a partir de la industria

del recauchutado de la llanta, normalmente el tamaño de partícula es mayor. Antes de la molienda a tamaños menores de 0.2 mm, el llanta se reduce a trozos relativamente grandes < 300 mm, y después a tiras de tamaño entre 50-300mm.

Scaffaro (2005), obtuvo resultados para la mejora de las propiedades de las mezclas de diferentes polímeros con polvo de llanta; polietileno/polvo de llanta SBR/polvo de caucho, granos de caucho de llanta (0.85-2.125cm) /hormigón, granos de caucho/pasta de cemento. Un tema muy sensible es el impacto medioambiental del polvo de las llantas, tanto el procedente del reciclado como el generado en el uso normal de la llanta, que se traduce en el lixiviado del ZnO. La clasificación de la Comisión Europea (2003/105/EC) señala el Óxido de Zinc, como peligroso para el medio ambiente y muy tóxico para los organismos acuáticos. Alemania, estableció el estándar DIN 18035-7 para ensayar el lixiviado en superficies deportivas y césped de caucho molido.

5.5.2. Tecnologías de regeneración

5.5.2.1. Desvulcanización

De acuerdo con Adhikari (2000), los procesos de desvulcanización se pueden clasificar en dos grandes grupos;

Procesos físicos: la desvulcanización se produce con la ayuda de una fuente de energía externa. Se encuentran los procesos mecánicos, termo-mecánicos, criomecánicos, microondas y ultrasónicos.

Procesos químicos: son los más empleados por las industrias. Los agentes químicos empleados son generalmente disulfuros o mercaptans orgánicos empleados durante un trabajo mecánico a elevada temperatura, también encontramos agentes inorgánicos y otro tipo de procesos como puede ser la catálisis por transferencia de fase (PTC). Milani (2001).

5.5.2.2. Recuperación.

El interés en el proceso de recuperación del caucho data de la década de 1840, a raíz de la patente publicada por Charles Goodyear, sobre la vulcanización del caucho con azufre. El objetivo original de la recuperación del caucho vulcanizado es romper los

entrecruzamientos, para permitir reutilizar los componentes de caucho. Esta ruptura de los enlaces se puede dar mediante rotura del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre (desvulcanización) o mediante el fraccionamiento de las cadenas del polímero (despolimerización). El procedimiento es relativamente sencillo para el caucho natural, la dificultad radica cuando se aplica en cauchos sintéticos, particularmente SBR (caucho de estireno-butadieno).

La recuperación consiste en la conversión del entrecruzamiento tridimensional en un enlace 2D-dimensional, produciendo un material blando, plástico, de bajo módulo, procesable y vulcanizable, esencialmente de productos termoplásticos simulando muchas de las propiedades del caucho virgen. La recuperación consiste en dos tecnologías;

- El caucho es troceado en piezas y molido en partículas finas.
- El polvo es sometido a un calentamiento en presencia de agentes químicos, seguido de una molienda intensiva por fricción.

A parte de los tres procesos típicos que trabajan bien la recuperación del caucho natural: (i). proceso térmico, (ii) proceso pan (bajo presión de vapor) y (iii) proceso digestivo en disolución acuosa básica, de acuerdo con Myhre (2002) se han desarrollado nuevas técnicas refinadas que permitan el reciclaje de los cauchos sintéticos, que introducen varias fases de molienda.

Martínez (2002), establece un procedimiento de recuperación del caucho butílico, sin adición de agentes químicos en un proceso de corte mecánico a una determinada temperatura, empleado en la cámara de aire del llanta de camión. El proceso consigue una rotura selectiva del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre y una recuperación del butilo de alta calidad (sus propiedades no difieren mucho del caucho original); también recupera el caucho natural procedente de llantas de camión. El autor establece que los procesos de regeneración dan lugar a un fuerte decrecimiento de la densidad de entrecruzamientos y una mejora de la fracción soluble, lo que produce la ruptura combinada de enlaces de azufre y cadenas poliméricas. El estudio concluye

que una óptima elección de la materia prima y las condiciones de proceso, puede conducir a un grado más efectivo de desvulcanización y consecuentemente, una mejora de las propiedades físicas del material obtenido en la recuperación.

5.5.3. Tecnologías para el tratamiento y aprovechamiento por valorización energética como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica de las llantas de desecho.

5.5.3.1. Incineración directa – Combustible derivado de llanta (CDL).

La utilización como combustible trata de aprovechar la energía térmica que produce la combustión del caucho de las llantas. Según Marcos (2005) para el aprovechamiento energético, la llanta se puede convertir en polvo, troceado y entero. La selección se efectuará en función de las características del horno donde tenga lugar la combustión. En el caso de utilizarse como combustible derivado de llantas en hornos de fábricas de cemento, las características del horno de clinker, las altas temperaturas de funcionamiento, el largo tiempo de permanencia y la suspensión en el intercambiador de calor, por el que se desarrolla un proceso de adsorción, dan lugar a un sistema ideal de revalorización o utilización de combustibles secundarios. La combustión a temperaturas superiores a los 1200 °C, la atmósfera oxidante y los tiempos de permanencia entre 2 y 6 segundos garantizan la destrucción efectiva de los componentes orgánicos existentes en los residuos, eliminando la nocividad de los mismos y evitando la generación de cenizas susceptibles de tratamiento.

Los resultados de los análisis realizados por Laboratorios LABEIN del clinker, empleando llanta troceado en un porcentaje de sustitución del 20%, son similares a los obtenidos utilizando como combustible solamente coque de petróleo. Observándose que con la utilización de llantas se reducen las emisiones de NO X y SO. Por lo que es absolutamente factible la valorización en hornos de cemento hasta un 20% del combustible utilizado.

5.5.3.2. Aprovechamiento energético mediante pirólisis

Entre las posibles vías de valorización de las llantas está la pirólisis, en la que las llantas se reducen a unas corrientes gaseosas, de aceite condensable, residuo carbonoso y metal. En el proceso de pirólisis se calientan los trozos de llanta (1-3 cm) a temperatura moderada (400-800°C) en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo. La degradación térmica del material produce una descomposición del llanta donde los elementos orgánicos volatilizables contenidos principalmente en las cadenas de caucho, se descomponen en gases y líquidos, y los elementos inorgánicos como el acero y el negro de carbono no volátil, permanecen como residuo sólido. Los gases pirolíticos están compuestos principalmente por metano, butenos y butanos junto con otros hidrocarburos ligeros; también contienen en baja proporción CO, CO₂, y H₂S. Los gases pirolíticos tienen un gran poder calorífico (68-84MJm⁻³). Laresgoiti (2004).

Los sólidos pirolíticos (de iguales dimensiones que el original) se desintegran fácilmente en polvo de carbono, cordones de acero y filamentos.

Los productos obtenidos en la pirólisis son: carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso), aceites (35% en peso) y residuo metálico (12% en peso).

Mediante la variación de la velocidad de calentamiento en el pirolizador se puede modificar la relación entre aceite condensable y gas no condensable (a mayor velocidad mayor producción de gas).

Las vías de valorización del carbono pirolítico pueden ser: como combustible de sustitución (mezcla con carbón), como negro de carbono para carga en materiales poliméricos, o como materia prima en la fabricación de carbón activo.

Los aceites obtenidos se pueden emplear como combustible en hornos convencionales. Los gases no condensables tienen un poder calorífico del orden de 68-84 MJ/m³, compuesto principalmente por hidrocarburos ligeros (olefinas y C –C parafinas) junto

con H, CO, CO, H, S, elementos que pueden ser empleados para calentar el reactor de pirólisis, o como combustible en las cementeras.

Actualmente en el proceso de pirólisis de llantas, para que la operación resulte rentable es necesario valorar tanto la corriente gaseosa como la corriente de aceites condensables, aunque el mayor margen de valorización esté en el negro de carbono pirolítico.

Los productos obtenidos mediante pirólisis y sus características dependen de la fuente de alimentación, las condiciones experimentales y de las características específicas del sistema empleado (tamaño y tipo de reactor, eficiencia de la transferencia de calor, tiempo de permanencia). Tanto Aguado (2005), como Murillo (2006), expresan que existe una relación inversamente proporcional entre el tamaño de las partículas de llanta y la conversión pirolítica, así como que la temperatura de degradación máxima del mismo tipo de caucho bajo idénticas condiciones depende de la composición de la llanta empleada, o que las constantes cinéticas dependen de la velocidad de calentamiento o de la conversión.

Marcos (2005), demuestra que se puede obtener un negro de carbono pirolítico con calidades similares a uno comercial de la serie 700 e inferiores, por lo que puede ser empleado para varias aplicaciones comerciales. Las características del negro de carbono reciclado son diferentes a las del negro de carbono convencional, pero con la optimización se llegan a aproximar. El uso del negro pirolítico para coloración y para absorbente de luz UV podría ofrecerse fácilmente tanto para productos plásticos como para productos de caucho.

Marcos (2005), manifiesta que la prioridad de obtención de productos valiosos de carbono pirolítico, dado que es el producto con mayor potencial de valorización. Las vías de valorización del carbono pirolítico son como combustible de sustitución (mezcla con carbón), como negro de carbono para carga en materiales poliméricos, o como materia prima en la fabricación de carbón activo.

Un nuevo proyecto financiado por la Unión Europea en el VI Programa Marco, Pyrol X- Tyre, apuesta por el diseño de un proceso de pirólisis rápida controlado por microondas para reciclar el negro de carbono y recuperar energía. En este proyecto participan 3 centros de investigación, entre otros el Instituto Nacional de Tecnología de Noruega, y entre los objetivos se cuentan el diseño de un prototipo con alimentación controlada, el desarrollo de una unidad de separación eficaz del sólido de hidrocarburo y la puesta en marcha de una tecnología nueva de sensor que ajuste los parámetros según la calidad del caucho de la alimentación.

De Marco (2002), expresa que el grupo de investigación de la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao para el desarrollo de combustible y tecnologías de combustión, se dedicó al estudio y caracterización del líquido pirolítico obtenido a temperaturas de 300-700°C en atmósfera de nitrógeno, en un autoclave, durante 30 min., obteniéndose que la temperatura no afectaba a la composición de los aceites. Bajo las mismas condiciones y a 500°C se obtienen gases pirolíticos muy ricos en hidrocarburos con baja proporción de SH con 1.8% en volumen y un elevado poder calorífico de 83.9 MJ/m³.

Mastral (2000), informa que el grupo de investigación para la conservación de recursos y reciclaje del Instituto de Carboquímica, de Zaragoza, estudió la influencia de las principales variables de proceso (temperatura, tiempo y presión) en la hidro conversión de la llanta (0.9 mm) mediante un reactor TB (tubing bomb reactor). Encontraron que a elevada temperatura no mejoraba la conversión total del caucho, pero decrecía la producción de aceite, a 375°C se producía 47% de aceites y a 425°C un 42 %, con tiempo de reacción de 30 min. La misma tendencia se observó con el tiempo de reacción (a temperatura 400°C, se pasó de 54% a los 5 min a 45% a los 60 min), pero no se observaron diferencias en la conversión y producción cuando se introdujo nitrógeno.

Existen dos tipos principales de aceites residuales, H09 y H18, que se derivan de la pirolisis del caucho. El aceite H09 es el que contiene un mayor porcentaje de coque

(10%), mientras que el aceite H18 contiene un 1,8%. El coque pirolítico se puede separar totalmente del aceite pirolítico, el cual puede emplearse como asfalto modificado. Yousefi (2000). El equipo de investigación de combustibles de la Universidad Laval en Quebec, ha estudiado el efecto del aceite H18 sobre las propiedades del asfalto modificado con polietileno reciclado (RPE-H18 (en 5-10%)), demostrando que se mejoraban las prestaciones del asfalto a moderadas y altas temperaturas (-15-90 °C). Yousefi (2000).

5.5.3.3. Aprovechamiento energético por gasificación.

La gasificación es un proceso termoquímico de descomposición de la materia orgánica en un ambiente caracterizado por un déficit de aire respecto al estequiométrico necesario para realizar la combustión completa de la misma. Es un proceso a 600°C donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua).

En el tratamiento de las llantas de desecho, vía gasificación se obtienen 2 fases; una sólida (mezcla de negro de carbono -25% en peso) y acero (12% en peso) en aprox. un 37% en peso del total de los productos del proceso, y una fase gaseosa en un 63%. Los dos componentes de la fase sólida se separan fácilmente con un troyel rotatorio de tamizado. El gas generado sale de los gasógenos a una temperatura superior a 350°C y contiene 2 fases separables:

- Fase gaseosa no condensable; formada por una amplia gama de gases de gasificación (CO, H₂, CO₂, N₂, hidrocarburos tipo C₁, C₂, C₃, C₄...). Representa, en media, un 38% en peso del total tratado en el proceso. Empleados como valorización energética en motores de gas adaptados al respecto.
- Fase gaseosa condensable; constituida por todo el espectro de alquitranes, aceites medianos y ligeros, BTX, etc. Constituye un 25% del peso total tratado. Los aceites condensados se pueden valorizar energéticamente como sustitutivo de un fuel-oíl ligero o emplear en aplicaciones industriales específicas.

5.6. Selección de tecnologías para aprovechamiento de las llantas de desecho en la producción de combustibles para la generación de energía en la industria nacional.

Teniendo en cuenta el uso actual del residuo llantas de desecho y las alternativas de su aprovechamiento que ha tenido éxito a nivel internacional se han seleccionado cuatro de ellas con potenciales implementaciones en el contexto nacional industrial y que son:

5.6.1.- Combustible alternativo - Utilización de combustible derivado de llantas de desecho (TDF) en hornos de producción de cemento. Esta es una tecnología de Coincineración, la cual consiste en utilizar este residuo, en calidad de combustible alterno y/o complementario al bunker, en función de su alto poder calorífico, teniendo además la posibilidad de aportar materia prima para la fabricación del clinker, al sustituir un porcentaje del hierro necesario en este proceso, por el contenido de acero presente en las llantas. La principal ventaja que presenta el aprovechamiento de este residuo en este proceso, es la reducción del uso de combustible tradicional no renovable. Como desventajas presenta un menor grado de valorización respecto a otras alternativas pues recupera sólo parte de la energía usada para fabricar una llanta nueva, además que corresponde a valorización sólo para la industria cementera quien cobra por el servicio. En las condiciones actuales, la empresa Cemex, que es la única que produce cemento en Nicaragua, no está en capacidad de implementar esta alternativa, ya que no dispone de un sistema adecuado para el tratamiento de los gases de combustión que se generan durante la incineración de las llantas de desecho y necesitaría de una inversión cuantiosa, lo cual por ahora no es del interés de esta empresa. De acuerdo con la experiencia internacional se debería pagar un costo por incineración de 80 USD/Ton, además de los costos de transporte hasta la planta productora de cemento.

5.6.2. El aprovechamiento del residuo llantas de desecho, como combustible en plantas termoeléctricas, a partir de su elevado poder calorífico para generar energía eléctrica. Para las plantas termoeléctricas existentes en el país, se requiere utilizar el residuo pulverizado, sin metal ni textil, a tamaños de malla 200 para asegurar

la combustión total y la realización de algunas modificaciones previas a los equipos y cámara de combustión de la infraestructura existente. Es de destacar que en los estudios económicos de las alternativas en función del aprovechamiento energético se ha determinado que no es viable su implementación, especialmente por los costos del bunker y la utilización de hidroeléctricas para generación con costos mínimos en comparación con los combustibles.

5.6.3.- Obtención de mezclas de combustibles de hidrocarburos y otros materiales por medio de pirólisis de llantas de desecho: El producto a obtener de la planta es un crudo de pirólisis, que consiste en una mezcla de hidrocarburos muy similar al fuel oil de petróleo, pero de mejores características, ya que posee una menor densidad, menor viscosidad, no contiene azufre, cloro, ni otros potenciales contaminantes, habituales en combustibles fósiles. Debido a la situación internacional del precio fluctuante del crudo, se generan restricciones económicas en cuanto a la disponibilidad de fuel oil, que afecta significativamente los costos de la generación eléctrica y por ende las capacidades productivas tanto en la industria como en la agroindustria. Nicaragua está importando importantes y crecientes volúmenes de fuel oil y gas oil. La presencia de azufre, contaminante habitual en el fuel oil importado, genera un gran riesgo ecológico pues su descarga a la atmósfera puede producir la perniciosa lluvia ácida. Entre las ventajas que proporciona esta alternativa de aprovechamiento del residuo, está la descomposición química total de los componentes de las llantas, generándose gases pirolíticos que tienen elevado poder calorífico, además de la materia prima del Negro de carbono se puede reutilizar para fabricación de nuevos elementos y el Negro pirolítico para coloración y absorbente luz UV. Como principal desventaja esta la problemática con la aplicación de los aceites condensables obtenidos, siendo su uso más frecuente como combustible de barcos y buques, además de que las características y calidad de los productos a obtener, dependen de las condiciones del proceso, por lo que debe existir un control y ajuste permanente de los parámetros de operación. Los montos de inversión, para plantas procesadoras de hasta 10,000 Ton/año de llantas de desecho alcanzan valores de 5 Millones USD o

superiores. Los mercados para los productos obtenidos son incipientes. Esta alternativa es viable en el largo plazo.

5.6.4. Obtención de Gas de síntesis por gasificación de llantas de desecho para la generación de energía térmica y/o eléctrica.

La obtención de gas de síntesis por gasificación de llantas de desecho ocurre en un proceso térmico que se lleva a cabo entre 500°C y 600°C, donde el carbono presente en la llanta de desecho se convierte en la fase gaseosa, que contiene monóxido de carbono, hidrógeno y metano (CO, H₂, CH₄), el cual posee un alto valor energético. Este gas de síntesis es usado en la generación de energía eléctrica a partir de un motor de combustión interna, que producto de la reacción de combustión, libera la energía almacenada en el gas; esta liberación de energía mueve los pistones del motor haciendo girar al cigüeñal principal (eje del motor) y a un generador eléctrico acoplado, produciendo electricidad. La potencia obtenida, dependerán del cilindraje del motor y de las revoluciones alcanzadas, por lo que, a mayor número de revoluciones, mayor cantidad de energía. Con esta técnica se aprovecha el gas y se obtiene energía más amigable con el planeta. Durante la gasificación de las llantas de desecho, se obtiene, también una fase sólida que contiene Negro de Carbono recuperado (rCB) y una mezcla líquida de un hidrocarburo pesado C₅-C₁₂, que sirve como materia prima en otras industrias, además de la recuperación de la fracción metálica de acero de alta aleación contenido en las llantas.

Las ventajas de este proceso de gasificación, consisten en que proporcionan un gas de síntesis de densidades de energía y temperaturas mucho más altas que permiten un encendido y calentamiento más rápido, alta transferencia de calor y niveles de mezcla reactantes, enfriamiento rápido para un mejor control de la composición de los productos de salida, se obtienen tasas de flujo inferiores de volúmenes de gases residuales y costos reducidos de la limpieza de gas. Existe un mayor potencial para producir co-productos que se pueden vender.

Tabla 5.10. Alternativas de aprovechamiento de las llantas de desecho.

Nombre		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
		Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de Cementos	Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas	Aprovechamiento energético en calidad de combustibles en mezclas de hidrocarburos por medio de pirolisis de llantas de desecho.	Obtención de Gas de síntesis por gasificación de llantas de desecho para la generación de energía térmica y/o eléctrica.
Descripción		Llantas fragmentadas como combustible alternativo al bunker y materia prima (hierro) en los hornos de producción de cemento.	Llantas pulverizadas como combustible alterna al bunker en las termoeléctricas	Llantas pulverizadas sometidas a pirolisis, obtención de mezcla de hidrocarburos, negro de carbono y negro pirolítico, utilizado como materia prima para la producción de tinta para impresoras y adsorbentes.	Llantas enteras, convertidas en granza y sometidas a gasificación, a temperaturas de 500-600°C, en presencia de agente gasificante.
Materia prima para el aprovechamiento		Llanta fragmentada tamaño 8" x 8" con textil y acero.	Polvo de Caucho malla 200 sin textil ni acero	Polvo de Caucho Malla 80 sin textil ni acero	Llanta entera
Producto final		-Energía -Cemento con materia prima de llanta (hierro)	-Textil -Acero -Energía	Fuel-oil – Mezcla de Hidrocarburos entre Diésel y Gasolina. Negro de carbono Negro pirolítico	Syngas, Negro de humo, Fuel-Oil: Mezcla de Hidrocarburos C ₅ -C ₁₂ Acero Energía eléctrica/térmica
Tecnología		Existente, con uso intensivo a nivel mundial	-Tecnología conocida y utilizada en diferentes compañías a nivel mundial.	Con amplio uso en E.U, Canadá y Europa, Japón, China, India, Australia	Existente y de fácil implementación, con uso intensivo a nivel mundial.
Inversión. OCADE (2018).		4 millones USD	4,5 millones USD	5 millones USD	6 a 12 millones USD.
Viabilidad económica	Costo unitario actual	0.87 U\$ /MBTU	0.87 U\$ /MBTU	647.3 USD/Ton	13.30 USD/MWh
	Costo unitario alternativa	1.90 U\$ /MBTU	5.75 U\$ /MBTU	430.0 USD/Ton	9.5 USD /MWh
	Diferencia Unitaria	-1.03 U\$ /MBTU	-4.88 U\$ /MBTU	217.3 USD/Ton	3.8 USD /MWh
	Diferencia Total	-444,000 U\$/año	-2,632,000 U\$/año	1,174,941.10 USD/año	2,875,0000 USD/año

Propuesta de tratamiento y disposición final del residuo llantas de desecho en la ciudad de Managua.

Tabla 5.11. Ventajas y desventajas de las alternativas de aprovechamiento y valorización material y energética del residuo llantas de desecho.

Ítem		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
		Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de Cementos	Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas	Aprovechamiento energético en calidad de combustibles en mezclas de hidrocarburos por medio de pirolisis de llantas de desecho.	Obtención de gas de síntesis por gasificación de llantas de desecho para la generación de energía térmica y/o eléctrica.
Económico	Ventajas	i) Valor agregado al residuo.	i) Valor agregado al residuo	i) Generación de ingresos por su exportación o utilización en nuevos mercados. ii) Valor agregado al residuo	i) Generación de ingresos por su exportación o utilización en nuevos mercados. ii) Valor agregado al residuo
	Desventajas	i) Altos costos de inversión sin rentabilidad	i) Altos costos de inversión sin rentabilidad	i) Costos asociados a estudio piloto	Ninguna
Social	Ventajas	i) Generación de Empleo Directo.	i) Generación de Empleo Directo.	i) Generación de Empleo Directo. ii) Disponibilidad de nuevos combustibles	i) Generación de Empleo Directo. ii) Mejora la calidad de vida por acceso a la energía eléctrica
	Desventajas	Pérdida gradual de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo del residuo.	Pérdida gradual de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo del residuo.	Pérdida gradual de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo del residuo.	Pérdida gradual de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo del residuo.
Ambiental	Ventajas	Todos los componentes de las llantas quedan dentro del cemento. Con el sistemas de control de emisiones se garantizan los niveles permisibles de emisión de acuerdo a la reglamentación vigente	La empresa cuenta con equipos de control que garantizan los niveles de vertimientos, emisión y manejo de residuos sólidos (escoria y cenizas)	No existe posibilidad de emisión de compuestos peligrosos. Eliminación total del residuo. Eliminación de reservorios de vectores de enfermedades.	No existe posibilidad de emisión de compuestos peligrosos. Eliminación total del residuo. Eliminación de reservorios de vectores de enfermedades.
	Desventajas	Ante eventuales fallas en el sistema de combustión y/o de control de emisiones se pueden generar compuestos peligrosos	Quedan residuos de llantas a disponer: emisiones de azufre en combustión y fibra en la fragmentación). -Ante eventuales fallas en el sistema de combustión y/o de control de emisiones se pueden generar compuestos peligrosos	Se deben disponer residuos de llantas (fibra) en la fragmentación.	Se deben disponer residuos de llantas (fibra) en la fragmentación.

En la Tabla 5.10, se presenta el resumen de los principales elementos estudiados constitutivos de la factibilidad técnica y económica de las alternativas, al analizar el potencial aprovechamiento de este residuo. Las ventajas y desventajas en el ámbito económico, social y ambiental de cada una de las alternativas analizadas, se muestran en la Tabla 5.11.

Considerando los aspectos económicos, tecnológicos, sociales y ambientales, que son los factores de mayor incidencia y empleando el método de los factores ponderados, se ha seleccionado de conformidad con el puntaje mayor obtenido, que la alternativa de obtención de gas de síntesis por gasificación de llantas de desecho para la generación de energía eléctrica, es la mejor opción, con un puntaje ponderado de 72 puntos. En la Tabla 5.12 se presentan los resultados obtenidos para cada alternativa analizada.

Tabla 5.12. Evaluación y selección de alternativas de aprovechamiento de llantas de desecho por el método de factores ponderados.

Parámetro	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
		Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de Cementos	Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas	Aprovechamiento energético en calidad de combustibles en mezclas de hidrocarburos por medio de pirolisis de llantas de desecho.	Obtención de Gas de síntesis por gasificación de llantas de desecho para la generación de energía eléctrica.
Valoración Máxima		100	100	100	100
Económico	25%	60	40	60	75
Cuantificable					
Económico no	20%	40	60	25	25
Cuantificable					
Social	20%	40	35	85	85
Ambiental	20%	75	50	65	90
Tecnológico	15%	60	60	65	90
Ponderación Final	100 %	55	48	60	72

5.7. Evaluación de la viabilidad técnica-económica de las tecnologías seleccionadas para la producción de combustible en la generación de energía térmica y eléctrica en la industria nacional.

5.7.1. Planta de gasificación de llantas de desecho para la generación de energía eléctrica.

La alternativa seleccionada, consiste en una planta de alta tecnología para el tratamiento y valorización energética de llantas de desecho por medio de gasificación para la generación de energía eléctrica, con una capacidad de proceso prevista de aproximadamente 27.000 Ton/año, a ser instalada en la Comarca Los Brasiles, en el Departamento de Managua. Esta ubicación, presenta unas características idóneas en cuanto a sus conexiones por carretera, disponibilidad de agua, acceso a sistema de redes eléctricas y disponibilidad de mano de obra.

Frente a la incineración de las llantas, el tratamiento y valorización propuestos suponen una importante reducción de las emisiones a la atmósfera de sustancias contaminantes, consiguiendo una valorización material, destinada a la sustitución de materias primas, lo que supone una mejora en la eficacia en el uso de los recursos en el país.

El residuo llantas de desecho, está compuesto de caucho natural y sintético, negro de carbón y sílice, metal, textil, óxido de zinc, azufre y aditivos. La capacidad de procesamiento será de 3,083 toneladas de llantas/hora, obteniendo por término medio los siguientes materiales reutilizables:

1. Syngas (918kg/h) que, tras ser lavado, será utilizado para la generación de energía térmica y/o eléctrica, para venderse al sistema interconectado nacional.
2. Negro de carbono recuperado rCB (973 kg/h) y
3. Un óleo o hidrocarburo pesado C5-C12 (792 kg/h) que servirá como materia prima en otras industrias,
4. Además de la recuperación de la fracción metálica presente en las llantas, acero de alta aleación (400kg/h).

La capacidad de almacenamiento prevista de llantas de desecho en la planta es de 2.250 toneladas, equivalente a la cantidad procesada en la planta durante un mes.

El proyecto contempla la construcción de las siguientes instalaciones:

- Bascula para camiones y oficina de báscula (37 m²).
- Nave cubierta de almacenamiento de llantas de desecho (9.038 m²).
- Planta de tratamiento y valorización de llantas y turbina (2.580 m²).
- Zona de post-procesado de Negro de Humo Recuperado (rCB), taller y almacenamiento de fungibles y residuos producidos (543 m²).
- Almacenes de negro de humo, rCB (2.928 m²).
- Área de almacenamiento de óleo de despolimerización; (420 m²) con 8 tanques de almacenamiento de 75 m³ cada uno fabricados en metal. Contarán con una piscina de contención de posibles fugas o derrames.
- Depósito de GLP (2 m³).
- Área de almacenamiento de acero reciclado; (144 m²).
- Edificio de Servicios Auxiliares (155 m²).
- Edificio de dos plantas para servicios y oficinas (1.058 m²).

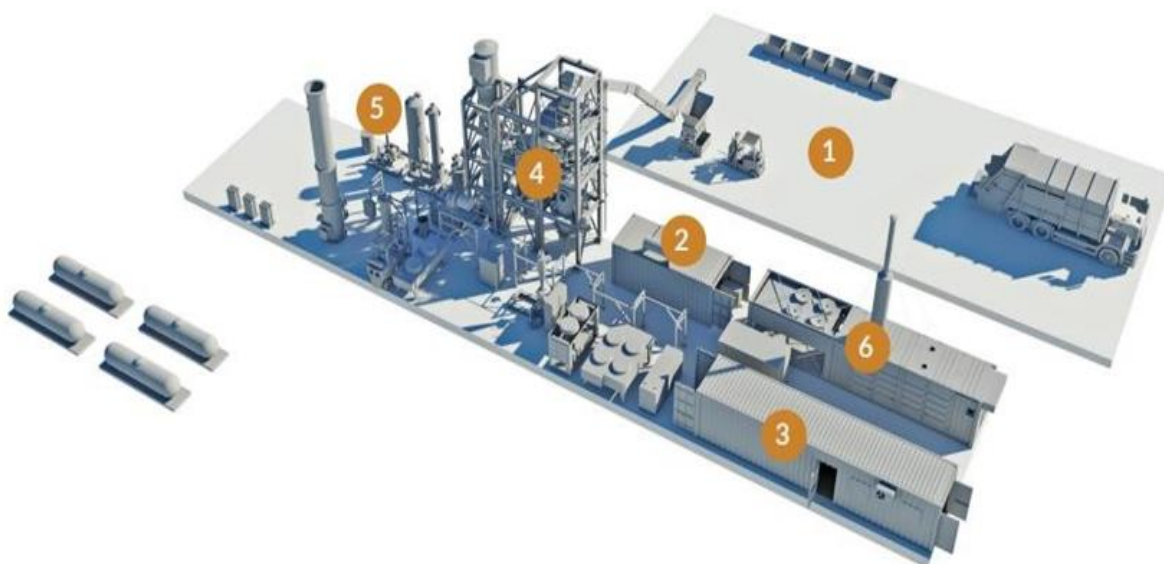
Además, se llevarán a cabo las necesarias intervenciones de construcción, como son una estación transformadora de 1,25 kVA y Red de suministro de energía de 20kV, conexión de gas industrial, conexión a la red de alcantarillado existente y la construcción de resto de elementos exteriores; sistema de decantación, depósito y sistema de carga, así como una red de hidrantes.

5.7.2. Elementos y componentes de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad.

Se seleccionó una planta de gasificación y generación de electricidad de la Empresa Sierra Energy, la cual está conformada por los siguientes elementos:

1. Sección de recepción, almacenamiento, trituración, transporte y alimentación.
2. Equipos Auxiliares.
3. Sala de control
4. Sistema de gasificación
5. Sistema de limpieza de gas
6. Sistema de generación Eléctrica

Estos componentes se muestran en su conjunto en la Figura 5.4.



Fuente: Sierra Energy

Figura 5.4. Componentes de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad.

5.7.2.1. Sección de recepción, almacenamiento, trituración, transporte y carga en el reactor.

Las llantas de desechos son transportadas desde los vertederos o centros de generación hasta la planta de gasificación y pasan a las instalaciones de almacenamiento, que cuenta con una capacidad de 2250 toneladas y luego a la zona de buffer donde se depositan temporalmente, unos 1.500 m³, a la espera de entrar al proceso de trituración. Las instalaciones de almacenamiento, están techadas y aisladas del ambiente, protegidas de la intemperie y de agentes externos, además se contempla el almacenamiento de las llantas de desecho, en módulos separados por paredes de hormigón o ladrillo, dotados de rociadores para evitar la propagación de un incendio en el interior de la nave. Continuando con el tratamiento de las llantas de desechos, estas son trituradas hasta una tamaño entre 2 a 6 mm, luego el polvo de caucho, es trasladado por medio de un sistema automatizado de bandas transportadoras hasta una tolva de alimentación depositándolo en los reactores las cantidades necesarias. Una vez vaciada la tolva, se volverá a cargar, siguiendo un proceso cíclico, durante el cual siempre se contará con materia prima para cargar el reactor de gasificación en el momento requerido.

5.7.2.2. Equipos Auxiliares.

En esta sección se albergan los compresores de aire, bombas de circulación del agua de refrigeración y calderas de recuperación de calor para generación de vapor saturado. El equipo más destacado del módulo es la unidad de separación de aire criogénica, destinada a producir oxígeno puro. Este módulo es el pulmón del sistema puesto que en él se encuentran los principales dispositivos de la planta que permiten llevar a cabo cada una de las etapas en las cuales se basa el fenómeno de gasificación.

5.7.2.3. Sala de Control.

Este recinto está destinado al control de toda la central de gasificación que incluye el sistema eléctrico de potencia, centro de control de los motores de gas, control del reactor, intercambiadores, control de calderas de recuperación, cintas transportadoras,

dispositivos de carga-descarga del reactor, servidores y servicios informáticos, vertido eléctrico a la red, etc. Todos estos sistemas previamente descritos estarán automatizados y se podrán controlar vía telemática desde la sala de control, pero también habrá operarios para realizar las operaciones requeridas de forma física en caso de ser necesario.



Figura 5.5. Sala de control del proceso de gasificación y generación de electricidad.

5.7.2.4. Sistema de gasificación de llantas de desecho

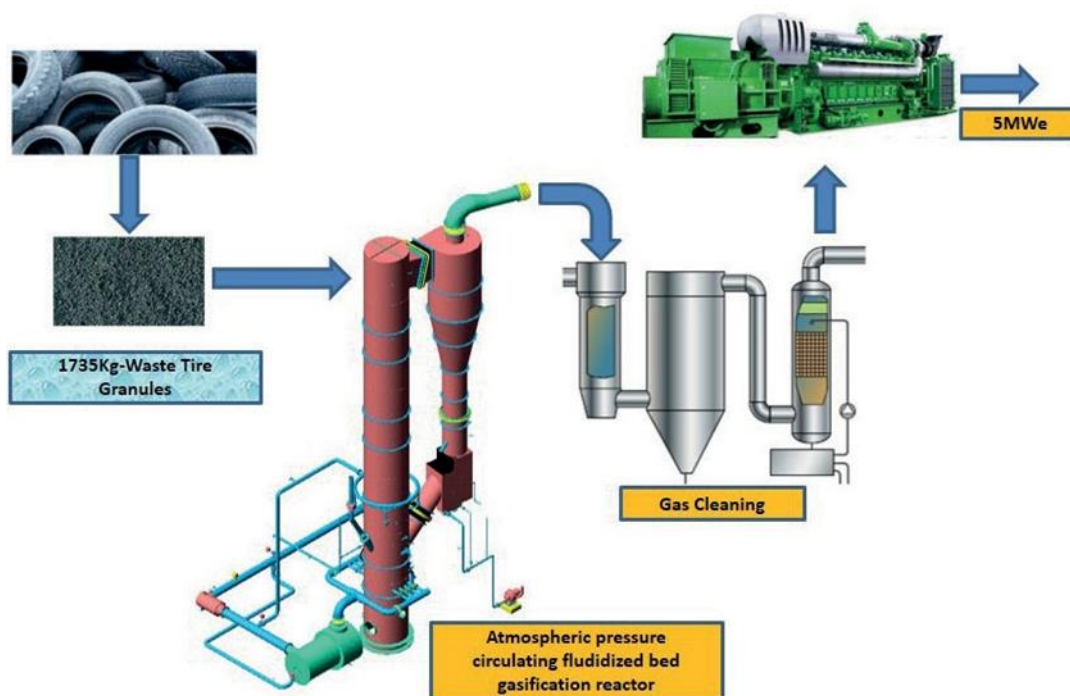
El reactor-gasificador es el corazón de la central, tiene una capacidad de procesamiento de 18,808 Ton/año de polvo de caucho granulado malla 80. La planta operara durante 8,000 horas netas anualmente. Esto permitirá una capacidad de generación de electricidad neta de aproximadamente 5MWe utilizando motores de gas.

El polvo de caucho dentro del reactor, que tiene un sistema patentado de sellado con agua, es sometido a despolimerización mediante aporte de calor, sin aire exterior y con presión negativa, obteniendo una fracción gaseosa que, tras un proceso de enfriamiento, separación del condesado y lavado, se obtiene el gas de síntesis (Syngas), que servirá como combustible del proceso y para la producción de energía eléctrica. La fracción líquida será sometida a un centrifugado para separar el agua del hidrocarburo. Por otro lado, se obtendrá en el reactor una fracción sólido, de la que se separa el acero contenido en el llanta de un material del que se obtiene el “negro de carbono recuperado”. El tiempo de permanencia en los reactores será en general inferior a una hora, siendo la capacidad de procesamiento total de 3,083 T/hora.



Figura 5.6. Sistema de gasificación de llantas de desecho.

El diagrama de procesos de esta instalación de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad, se presenta en la Figura 5.7. La parte más crítica e innovadora de este sistema es obviamente el reactor de gasificación, el cual está diseñado para adaptarse a las diferentes condiciones de operación, que puedan ocurrir en dependencia de las propiedades físicas, químicas y térmicas de las distintas composiciones de las llantas de desecho que varían desde llantas de automóviles livianos hasta llantas de camiones pesados. El gasificador de lecho fluidizado circulante utiliza una mezcla de aire precalentado y vapor como agente de gasificación. El gas sintético obtenido de la isla de gasificación se limpia y se convierte en potencia en motores de gas de combustión interna para la generación de electricidad y según las necesidades productivas de la empresa también en calor si así fuese necesario.



Fuente: Sierra Energy

Figura 5.7. Diagrama de procesos de la instalación de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad de 5 MW.

5.7.2.4.1. Equipos mayores de - Equipos menores de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de electricidad.

La planta de energía consta básicamente de los siguientes elementos:

- el área de almacenamiento de gránulos de llantas de desecho y el sistema de alimentación, junto con las áreas de almacenamiento y alimentación de piedra caliza y arena de sílice;
- el reactor de gasificación compuesto principalmente por el reactor de lecho fluidizado circulante con su estructura de soporte, separador ciclónico, sistema de sellado en bucle, quemador de arranque, ventiladores de aire primario y secundario, sistema de extracción de cenizas con tornillo de enfriamiento de cenizas, agua de refrigeración sistema con radiadores de refrigeración por agua circulante, precalentador de aire, tuberías de aire primario y secundario, instrumentos, válvulas y amortiguadores, MCC y panel de control;

- el sistema de suministro de vapor del reactor compuesto principalmente por la caldera de vapor sobrecalentado donde el calor requerido será suministrado por el gas de síntesis caliente a través de un sistema de recuperación de calor, bombas de agua de alimentación, desaireador y tanque de almacenamiento con instrumentos, válvulas, unidad de tratamiento de agua con tanque de almacenamiento, MCC y panel de control;
- el sistema de gas de síntesis con el conjunto de tuberías de gas de síntesis, incluido el sistema de derivación, el sistema de recuperación de calor de gas de síntesis y / o el refrigerador de gas de síntesis con aire, instrumentos y amortiguadores de control;
- el sistema de limpieza de gas de síntesis con depurador de spray 1 y 2, condensador con separador de gas / agua, filtro de bolsa protegido con nitrógeno, sistema de circulación de agua con tratamiento de agua, bombas de circulación;
- el sistema de antorcha con el tambor extraíble, el tanque de sellado de agua, la llama piloto de **GLP** con antorcha, el panel de control;
- los grupos electrógenos del motor de gas, que incluyen el sistema de aceite lubricante, los filtros de aire de admisión, el panel de control del generador, el patín de control de combustible, el sistema de arranque de aire, el recinto acústico, el sistema de gas de escape y la pila, los conductos de aire y los radiadores, incluido el sistema de recuperación de calor de los motores de gas con intercambiadores de calor de agua de camisa de motores, caldera de gases de escape con válvulas y bombas.

El sistema de antorcha asegurará la eliminación segura del gas de síntesis durante el arranque o las perturbaciones a corto plazo. La antorcha incluye una llama piloto de gas licuado de petróleo (GLP) para asegurar que la antorcha esté funcionando continuamente. El agua para la limpieza y el enfriamiento de gas se utilizará de forma circulante sin contaminación ambiental después de ser tratada a través de instalaciones de tratamiento de agua. Sin embargo, se requerirá una pequeña cantidad de agua

de reposición. La principal pérdida de agua es a través del vapor que se alimenta al reactor de gasificación para aumentar la eficiencia de gasificación.

El balance de masa del reactor de gasificación solo para electricidad se da en la Tabla 5.13 para una temperatura del lecho del reactor de 850 ° C y para una eficiencia de gas frío del 70%.

Tabla 5.13. Balance de masa para la generación de 5000 kWe.

Componente	Unidades
Velocidad de flujo de gránulos de llantas de desecho	2351 kg / h Eficiencia del gasificador 0.82 %
Rango del flujo de aire	6250 kg / h
Caudal de vapor	780 kg / h
Flujo de ceniza	86 kg / h
Flujo de gas de síntesis	11560 Nm ³ / h
Syngas LHV	5276 kJ / Nm ³
Syngas HHV	5713 kJ / Nm ³
Generación eléctrica / Neta	5 000 kWe / 4 500 kWe

Los productos de la valorización material y energética del residuo llantas de desecho se presentan en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Productos de la valorización material y energética del residuo llantas de desecho.

Producto	Cantidad
Negro de Carbono regenerado de alta calidad rCB	8,514 T/año
Oleo de despolimerización	3,504 T/año
Acero de alta aleación	6,938 T/año
Generación de electricidad mediante el sistema ORC	5 MW

Fuente: Sierra Energy

5.7.2.4.2 Composición del gas de síntesis (SYNGAS)

El gas de síntesis, obtenido en esta planta, es un gas que está compuesto por una amplia variedad de compuestos, que principalmente son: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono, hidrógeno, metano, etc.

Tabla 5.15. Composición del Gas de Síntesis (Sierra Energy)

Composición	Porcentaje, %
CO	48-66
H ₂	18-32
CO ₂	5-15
CH ₄	0.5-12
Etano	< 2
Propano	< 2
N ₂	0.5-3
O ₂	< 1
Ar	0.5-2.5

Fuente: Sierra Energy

Poder calorífico del gas de síntesis

El gas de síntesis obtenido en esta planta, a partir de la gasificación de las llantas de desecho, tiene un poder calorífico inferior (PCI) promedio de **5276 KJ / Nm³**, valor que ha sido determinado y confirmado por Donatelli (2018), a partir de diversos experimentos. Este es un parámetro fundamental para el proceso de generación de electricidad, dado que afecta de manera directa al funcionamiento de los motores de gas y la transformación de la energía química del combustible en energía mecánica que finalmente incidirá en la energía eléctrica y/o térmica generada. El sistema de gasificación, también incluye otros equipos como los sistemas de inyección del agente gasificante, pulidora, recuperador, intercambiadores de calor, sensores, dispositivos para el control de operación, redes de tuberías, etc.

5.7.2.5. Sistema de limpieza del gas.

Esta zona de la planta es muy importante y requiere de un importante mantenimiento. Está compuesta por todos los equipos necesarios para realizar las funciones de limpieza y acondicionamiento del gas que posteriormente será inyectado en los motores de gas sin causar problemas de corrosión, abrasión o emisión de contaminan-

tes a la atmósfera.

5.7.2.6. Sistema de generación eléctrica

En esta sección, se encuentran los motores de gas y todo el sistema de potencia eléctrico de la central de gasificación. Son los equipos que obtienen el producto final de la planta. Para generar electricidad a partir del gas de síntesis, se utilizan 3 motores de gas GE Jenbacher J620 GS-F63 con un 40% de eficiencia.

Las características del módulo de cogeneración con un motor Jenbacher J620 GS-F63 se presentan en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16. Características del módulo de cogeneración con un motor Jenbacher J620 GS-F63.

Componente	Unidades	Valor
Potencia eléctrica	Kwe	1059
Potencia térmica aprovechable(180°C)	Kw	1269
Energía invertida	Kw	2176
Consumo de gas con un PCI de 5Wh/Nm3	Nm3/h	543
Rendimiento eléctrico	%	39
Rendimiento térmico	%	46.7
Rendimiento total	%	85.7

En el Anexo III, se analizan los aspectos ambientales de la planta de gasificación de llantas de desecho para la generación de energía eléctrica.

5.8. Estudio económico financiero de la alternativa de aprovechamiento de llantas de desecho.

El estudio económico-financiero, se realizó en cuatro etapas, que fueron:

- Estimación de las inversiones del proyecto,
- Establecimiento de las fuentes y determinación de los montos del financiamiento del proyecto.
- Determinación de los presupuestos de ingresos y egresos del proyecto
- Determinación de los estados financieros

Estos cuatro elementos, permiten analizar y establecer la viabilidad técnica-económica del proyecto, determinando:

- El monto total de la inversión del proyecto,
- Los ingresos y gastos totales de operación,
- Las fuentes y esquemas de financiamiento que requerirá el mismo proyecto, así como la estimación económica de la situación futura del proyecto.

La evaluación financiera del proyecto permitió analizar y establecer la rentabilidad del proyecto tanto sin financiamiento como con financiamiento; para lo cual se utilizarán cinco indicadores básicos:

- Valor Actual Neto,
- Relación Beneficio-Costo,
- Tasa Interna de Retorno
- Periodo de Recuperación de la Inversión

Sobre la base de los resultados obtenidos en los escenarios de análisis:

- a. sin financiamiento
- b. con financiamiento,

Se concluyó sobre la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

5.8.1. Supuestos de la evaluación económica financiera de la planta

La evaluación económica se realizó, sobre la base de los siguientes supuestos:

- a) Se evaluó, el proyecto tomando en cuenta la generación de energía eléctrica, la generación de energía térmica no se consideró.
- b) Se asume que se paga por el servicio de recolección de las llantas desechadas y no por la materia prima. Incluso, dependiendo de la eventual entrada en vigencia de la Ley Especial de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos Peligrosos y No Peligrosos, se pretende estar preparados para un futuro escenario donde se cobre un **Tipping Fee**, idéntico al modelo de operación de países europeos donde se obliga a disponer adecuadamente de estos residuos, basados en el principio ambiental de que quien contamina paga.
- c) La tasa de descuento exigida al proyecto por el inversionista no debe ser menor de un 25%, que es la misma con que evalúan proyectos de similares características y riesgos.
- d) La capacidad de la planta es de 27,000 Ton/año y su actividad es de 8000 horas al año, aunque puede procesar hasta 35,000 Ton/año de llantas de desecho.
- e) El periodo de evaluación del ciclo de vida del proyecto se plantea en 10 años.
- f) La depreciación ocurrirá en este mismo periodo de 10 años sin valor residual. Sin embargo, según estimaciones del proveedor de la tecnología, el valor comercial de la planta al finalizar ese periodo de tiempo será de un 10% del valor de la inversión inicial asumiendo que no habrá nuevas inversiones que permitan continuar con los flujos de ingresos por venta y por lo tanto solo se venderá la planta por partes, sin capacidad productiva.
- g) El capital de trabajo se asume que debe estar preparado para enfrentar 6 meses, es decir se debe contar inicialmente con el dinero para los costos de al menos medio año.
- h) Los rendimientos de la planta de gasificación son los siguientes:

Negro de Carbono regenerado de alta calidad rCB	8,514 T/año
Oleo de despolimerización	3,504 T/año
Acero de alta aleación	6,938 T/año
Generación de electricidad mediante el sistema ORC	5 MW

i) Financiamiento

Se analizan al menos dos escenarios:

- Para el escenario base, no se asumirá ningún préstamo. El capital es 100% de propiedad del inversor, sin deuda.
- El escenario dos, asume un financiamiento de organismos multilaterales como el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), que otorga préstamos con tasas preferenciales a proyectos de generación de electricidad con fuentes renovables de energía. Por otra parte, también se incluye préstamos de la Banca Nacional.

5.8.2. Inversión estimada del proyecto

En este apartado se presentará el análisis de las inversiones necesarias para llevar a efecto este proyecto, realizándose la siguiente clasificación, conforme la naturaleza de la inversión: Inversión Fija, Inversión Diferida y Capital de trabajo.

5.8.2.1. Inversión Fija.

En este rubro quedan comprendidas las erogaciones que se efectuarán para la adquisición o compra de: Terreno, Obra Civil, maquinaria y equipo de proceso, (pipas), materiales diversos y refacciones, equipo de mantenimiento, mobiliario y equipo de oficina, etc.

a) Terrenos y obras civiles

Para la capacidad prevista de 27,000 toneladas, experiencias previas del proveedor Sierra Energy en otros proyectos en países latinoamericanos, consideran necesaria una superficie aproximada de la planta de 8000 m² y del edificio en sí mismo, de 1000 m².

Por otra parte, según la Empresa ARS Construcciones, la cual consideran un tipo de edificación estándar y aplicable al edificio que se requiere, el costo sería de 400 USD /m² por lo que la construcción de la planta costaría:

- Edificios e infraestructura auxiliar1,200,000 USD
- Terreno.....125,000 USD

Total, Terrenos y obras civiles..... 1, 325,000 USD

b) Maquinaria y Equipo de Proceso.

De acuerdo a los datos entregados por el proveedor Sierra Energy, en este concepto se consideró la maquinaria y equipo de proceso, equipos auxiliares, equipos de transporte, accesorios e instrumentos de control, incluyendo la ingeniería, el software, partes y piezas específicas y capacitación incluidas, para la ejecución del proyecto, con los supuestos anteriormente mencionados tendría el siguiente costo:

- Línea de recepción, almacenamiento, trituración, transporte y alimentación de polvo de caucho750,000 USD
- Línea de gasificación con equipos auxiliares.....1,750,000 USD
- Sistema de limpieza de gas y equipos auxiliares.....850,00 USD
- Sistema de flamas y tuberías de transporte de gases.....190,000 USD
- 3 motores de gas Jenbacher JM 620GS.....2,625,000 USD
- Equipos auxiliares, equipos complementarios, accesorios e instrumentos del sistema electrógeno280,000 USD
- Sistema SCADA de control y automatización.....350,000 USD
- Ingeniería, Entrenamiento y Capacitaciones.....,150,000 USD
- Sistema contra incendio12,000 USD

Total Maquinaria y equipo de proceso.....6,957,000 USD

c) Equipo de transporte.

Se consideran 10 camiones pesados y 10 cabezales para articularse con rastras y/o auto tanques (pipas) articulados a un costo promedio de 60,000 USD/unidad.

Total Equipos de transporte.....1,200,000 USD

d) Papelería y equipo de oficina.

Por este concepto se han considerado, la papelería y el equipo necesario para acondicionar las oficinas del área administrativa del área de producción.

Total, Papelería y equipo de oficina.....60,000 USD

e) Equipo auxiliar y de arranque.

En este rubro de inversiones se incluyen el costo por adquisición de equipo de mantenimiento y equipo de seguridad industrial.

Total Equipo auxiliar y de arranque.....	450,000 USD
Total Inversión fija.....	9,992,000 USD

5.8.2.2. Inversión diferida.

En este rubro quedan comprendidas las erogaciones que se efectuarán para la adquisición o compra de: Terreno, Obra Civil, maquinaria y equipo de proceso, (pipas), materiales diversos y refacciones, equipo de mantenimiento, mobiliario y equipo de oficina, etc.

a) Constitución legal de la empresa, permisos y registros correspondientes.

En este concepto se incluyen los honorarios del Abogado y Notario Público, la inscripción en el Registro Mercantil, DGI, Alcaldía Municipal e INSS, así como el pago de permisos ambientales y autorizaciones para la generación y comercialización de energía eléctrica por parte del MEM.

Total Constitución legal de la empresa, permisos y registros correspondientes.....	10,000 USD
---	-------------------

b) Elaboración de estudios

Se consideró la elaboración de estudios de pre-factibilidad técnica económica, estudios legales, estudios de suelos y estudios de evaluación de impacto ambiental.

Total elaboración de estudios.....	25,000 USD
---	-------------------

c) Instalación, arranque y capacitación del personal.

Este rubro incluye la pruebas que se realizan antes de que la planta empiece a operar formalmente, así como la capacitación del personal que será proporcionada por la proveedora de maquinaria y equipo Sierra Energy.

Total Instalación, arranque y capacitación del personal.....	65,000 USD
---	-------------------

d) Seguro de transporte y flete.

Este rubro está compuesto por los costos de transportación de maquinaria y equipo, así como los fletes y seguros.

Total Seguro de transporte y flete.....	250,000 USD
--	--------------------

Total Inversión diferida350,000 USD

5.8.2.3. Capital de trabajo.

Para los proyectos de inversión nuevos el capital de trabajo, es el monto de dinero necesario para iniciar las labores de producción y venta de la empresa, hasta el momento en que ésta, es capaz de generar una cantidad de ingresos suficientes para cubrir el total de sus costos y gastos. El capital de trabajo sigue el ciclo de dinero-producto / servicio – dinero, por lo que es finalmente efectivo. Sin embargo, puede existir una parte que permanece inmovilizado como inventarios y cuentas por cobrar, aunque en general es de realización en el corto plazo.

El capital de trabajo para este proyecto se compone de efectivo, que sirve para cubrir costos y gastos, inventarios de materias primas, productos en proceso y productos terminados. De acuerdo a las recomendaciones de Sierra Energy, el capital de trabajo no debe ser menos al equivalente a seis meses debe disponerse de al menos seis meses de los costos de producción.

Total Capital de trabajo1110,348.75USD

5.8.2.4. Inversión total y resumen de Inversiones.

La inversión total asciende a 11, 452,348 USD para el año 0 o año de instalación y puesta en marcha. De esta inversión inicial, corresponden a la Inversión Fija 9,992, 000 USD (87.25%), a la Inversión Diferida 350,000 USD (3.05%) y al capital de trabajo 1, 110,348 (9.70 %). En la Tabla 5.17, se muestra el resumen de inversiones.

5.8.3. Financiamiento.

El financiamiento del proyecto debe de indicar las fuentes de recursos financieros necesarios para su ejecución y funcionamiento y describir los mecanismos a través de los cuales fluirán esos recursos hacia los casos específicos del proyecto. Asimismo, se analizarán las condiciones financieras en que se encontrarán los créditos, así como los gastos financieros en que incurrirá la empresa.

Tabla 5.17. Inversión Total: Inversión Fija, Diferida y Capital de Trabajo.

Concepto	Monto, USD
Terrenos y obras civiles	1,325,000
Maquinaria y equipo de proceso	695,7000
Equipos de transporte	1,200,000
Papelería y equipo de oficina	60,000
Equipo auxiliar y de arranque	450,000
Total, Inversión fija	9,992,000
Constitución legal de la empresa, permisos y registros correspondientes	10,000
elaboración de estudios	25,000
Instalación, arranque y capacitación del personal	65,000
Seguro de transporte y fletes	250,000
Total, Inversión diferida	350,000
Capital de trabajo	1,110,348
Total, Inversión	11,452,348

Fuente: Elaboración propia.

5.8.3.1. Estructura financiera del proyecto.

El Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) financia por medio de préstamos, el desarrollo de proyectos de energía renovable hasta una capacidad de 12.5 MW, a 10 años de plazo y a una tasa favorable del 8% anual, con tres años de gracias, por medio de préstamos tanto a inversionistas privados centroamericanos como a cualquiera de los estados centroamericanos miembros del SICA. La cobertura puede alcanzar hasta un 100 % del monto total de la inversión, siempre y cuando se cuente con avales del Estado Nacional correspondiente y responda a los programas de desarrollo económico social de la región centroamericana.

En la Tabla 5.18, se presenta el programa de amortización del préstamo de la inversión, a ser otorgado por el BCIE, a 10 años, con 3 años de gracia y 7 años de pago del principal a pagos constantes, con una tasa de interés del 8%.

5.8.3.2. Depreciaciones de activos fijos y amortizaciones de activos diferidos.

Las depreciaciones y amortizaciones son sobre el valor de los activos fijos y diferidos respectivamente, así como de su vida útil. Se ha aplicado una depreciación anual del 10 % de los activos fijos y diferidos, tal y como lo establece la Ley de Concertación Tributaria y sus reformas.

El valor de rescate de los activos fijos y diferidos, queda establecido en un 10% del valor inicial.

Tabla 5.18. Programa de amortización del préstamo de la inversión, a ser otorgado por el BCIE.

Año	Abono	Interés	Capital	Saldo
0				11,452,348.00
1		916,187.84		12,368,535.84
2		989,482.87		13,358,018.71
3		1,068,641.50		14,426,660.20
4	2,770,963.27	1,154,132.82	1,616,830.45	12,809,829.75
5	2,770,963.27	1,024,786.38	1,746,176.89	11,063,652.86
6	2,770,963.27	885,092.23	1,885,871.04	9,177,781.82
7	2,770,963.27	734,222.55	2,036,740.72	7,141,041.09
8	2,770,963.27	571,283.29	2,199,679.98	4,941,361.11
9	2,770,963.27	395,308.89	2,375,654.38	2,565,706.73
10	2,770,963.27	205,256.54	2,565,706.73	0.00

Fuente: Elaboración propia.

5.8.4. Presupuesto de operación.

La operación o puesta en marcha del proyecto implica la conjugación de ingresos y egresos, por lo que se debe pronosticar el volumen y comportamiento que tendrán estos dos grandes presupuestos durante la vida del proyecto, retomando la información estadística de los capítulos anteriores del presente análisis de factibilidad.

5.8.4.1. Presupuesto de ingreso

El presupuesto de ingreso estará en función de los volúmenes de producción y venta tanto de la electricidad como de la venta de los otros derivados obtenidos en el proceso de gasificación de las llantas de desecho a como lo son el aceite combustible, el Negro de Carbón y el acero recuperado. Los ingresos proyectados son los siguientes:

5.8.4.1.2. Beneficios – Tipping fee

Según lo mencionado en apartado de supuestos, el Tipping fee bajo las actuales circunstancias es 0, pero el escenario podría cambiar radicalmente dependiendo de la legislación.

5.8.4.1.3. Ingresos Beneficios – Subproductos

Aceite combustible

El tipo de combustible producido por la planta tiene un valor comercial que ha sido estimado en 450 USD /ton. Dado que al año la producción de este aceite será de 3,504 Ton/año se tiene un ingreso anual de:

Ingreso por venta de aceite combustible..... 1,576,800 USD

Negro de Carbón

El Negro de Carbón o Negro de Humo (Carbon Black) producido por la planta tiene un valor comercial que ha sido estimado en 350 USD/Ton. Se tiene una producción de 8514 Ton/año y un ingreso por venta de este material de:

Ingreso por venta de Negro de humo2,979,900 USD

Acero recuperado

El acero obtenido de la extracción de la estructura interna de la llanta tiene un valor comercial que ha sido estimado en 280 USD/Ton, este es el precio del producto entregado en puertos nacionales y que se vende en el mercado europeo. En el proceso productivo se generan 6,938 T/año, con lo cual se obtiene un ingreso anual de:

Ingreso por venta de acero recuperado..... 1, 942,640 USD

Generación de electricidad

Precio unitario electricidad.....163.9594 USD/MWh

Potencia generada por la planta..... 5 MW

Actividad de la planta.....8,000 horas/año

Ingreso anual por venta de electricidad..... 6,558,400 USD

Total de Ingresos anuales..... 13, 057,740 USD

Tabla 5.19. Ingresos totales por la venta de los productos obtenidos en la planta de gasificación y generación de energía eléctrica.

Producto	Cantidad	Precio, USD	Ingreso, USD
Negro de Carbono regenerado de alta calidad rCB	8,514 T/año	350	2,979,900
Aceite Combustible - Oleo de despolimerización	3,504 T/año	450	1,576,800
Acero de alta aleación	6,938 T/año	280	1,942,640
Generación de electricidad mediante el sistema ORC	5 MW	163.96	6,558,400
Totales			13,057,740

Fuente: Elaboración propia.

5.8.4.2. Presupuesto de egresos.

En el presupuesto de egresos, se estimarán los costos y gastos de operaciones en que incurrirá la empresa. Tradicionalmente se divide el costo total de la empresa en: costo de producir (en este caso para el presente proyecto será costo de almacenamiento), gasto de administrar y vender y gasto financiero. Todo lo anterior, son los rubros principales que integran el presupuesto de egresos.

5.8.4.2.1. Costos operacionales de producción

Costo de recolección de llantas de desecho: Se ha asumido un costo unitario por recolección de llantas de 25 USD/Ton, lo cual para una capacidad anual de 27.000 toneladas tiene un costo anual de:

Recolección llantas de desecho..... 675,000 USD

Costo de la Energía

Según los datos proporcionados por el proveedor y dados los supuestos de capacidad de la planta ya mencionados, los costos anuales asociados a la energía serían los siguientes:

Precio unitario electricidad.....0,2991 USD/Kwh

Consumo diario.....6500 Kwh/día

Actividad planta.....330 días

Costo anual electricidad.....650,000 USD

Costos de agua

Precio unitario agua.....0.75 USD/m³

Consumo diario.....15 m³/día

Actividad planta.....330 días

Costo anual agua.....3,712.50 USD

5.4.8.2.2. Costo por Mantenimiento

El costo de mantenimiento de la planta incluye el mantenimiento de la maquinaria, equipos, accesorios, instrumentos, las instalaciones física e infraestructura. Según datos proporcionados por Sierra Energy, se estima un 5 % de la inversión total al año.

Costo por mantenimiento..... 413,500 USD

5.4.8.2.3. Mano de Obra

Los costos de mano de obra de la planta, se presentan en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Costos de mano de obra.

PERSONAL	CANTIDAD	SALARIO MENSUAL USD	VACACIONES	13 MES	INSS PATRONAL	TOTAL SALARIOS USD
Gerente de Producción	1	2,500	2500	2500	562.5	42875
Ingeniero de Producción de Polvo de Caucho, Gasificación, Generación de Electricidad	3	1,500	1,500	1,500	337.5	77175
Ing. Control de Calidad	3	1500	1500	1500	337.5	77175
Operadores	18	700	700	700	157.5	216090
Técnico	4	500	500	500	112.5	34300
Personal Asistente	6	300	300	300	67.5	30870
Total Personal	35					478,485

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.21. Costos operacionales de producción.

Componente	Monto, USD
Recolección llantas de desecho	675,000
Consumo de agua	3,712.50
Consumo de electricidad	650,000
Costo por Mantenimiento	413,500
Mano de Obra	478,485
Total	2,220,698

Fuente: Elaboración propia.

5.8.4.3. Gastos de administración y venta.

Son los gastos en que incurrirá la empresa en el área de oficinas y estos son: sueldos y salarios del personal administrativo y de ventas, servicio de limpieza, teléfonos, gastos de papelería, gastos de publicidad, seguro de equipo de transporte y las depreciaciones y amortizaciones del área administración.

Se asumirán para los gastos de administración un 60% de los gastos de mano de obra directa, que equivale a:

Gastos de administración = $0.6 \times 478,485$ USD

Gastos de administración = 287,100 USD

Se asumirán para los gastos de administración un 30 % de los gastos de mano de obra directa, que equivale a:

Gastos de venta = $0.3 \times 478,485$ USD

Gastos de venta = 143,600 USD

5.8.4.4. Gastos financieros.

Los gastos financieros comprenden el pago de intereses por el préstamo a otorgarse por el BCIE y ascienden a **7, 944,394.90 USD**, estos se determinaron en la parte de financiamiento conforme la Tabla 5.18.

En la Tabla 5.22 se presenta el presupuesto de egresos para la vida útil del proyecto y que se integra por los gastos de administración y venta y los gastos financieros.

Tabla 5.22. Presupuesto de egresos

Componente	Monto, USD
Gastos de administración	287,100
Gastos de venta	143,600
Gastos financieros.	7,944,395
Total	8,375,095

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la evaluación económico-financiera de la alternativa planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW, se presentan en el Anexo V y un resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23. Resumen de resultados de evaluación económico-financiera de la alternativa planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5 MW.

Criterios de evaluación	Escenario I	Escenario II	Escenario III
	Inversión pura, sin financiamiento.	Préstamo del BCIE para proyectos de Energías Renovables con aval del gobierno de Nicaragua Tasa preferencial: = 8% Periodo: =10 años. Tres años de gracia.	Préstamo de Banca Nacional (BDF/BAC/BANPRO) para proyectos de Energías Renovables Tasa: = 15%; Periodo: =10 años.
TIR	58.51 %	48.38 %	43.16 %
VAN	11,368,525.71 USD	7,036,905.80 USD	6,040,218.15 USD
B/C	2.24 USD/USD	1.77 USD/USD	USD1.66 USD/USD
Periodo de Recuperación	1.2 años	2.04 años	2.44 años

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base en estos resultados se recomienda implementar el proyecto con el Escenario II, ya que este constituye la opción más viable, dado que el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), financia proyectos de generación de energía eléctrica con fuentes alternas de energía y energías renovables, cuando el proyecto lo ejecuta el estado de Nicaragua o el proyecto cuenta con el aval del estado. En este caso se obtiene una $TIR > TMAR$ es decir $48.38 \% > 25\%$, un $VAN > 0$, un $B/C = 1.77$ y un periodo de recuperación de 2.04 años. No obstante que las otras dos opciones presenten valores de estos criterios bastantes aceptables.

VI. Conclusiones

1. Las llantas están compuestas por caucho, material textil y material metálico, que son recuperables para su reutilización. En su composición química están presente el carbono, principal componente del caucho, que representa un 70 % en peso de la llanta, y es quien le proporciona un alto poder calorífico entre 32 y 34 MJ/Kg, por lo que se consideran un combustible alternativo, sin embargo, al combustionar sin control, emiten gases de que pueden causar afectaciones a la salud humana y contaminación al aire, suelo y aguas. Están presente, además, el cobre, zinc, cadmio, plomo, compuestos órgano halogenados en aproximadamente un 1.5 % en peso, y que son considerados como sustancias peligrosas.
2. El parque vehicular del Municipio de Managua se incrementó del año 2010 al año 2018 en un 52 %, al finalizar el año 2018 contaba con 270,8251 vehículos, los cuales generan 24,191.10 toneladas anuales, cuyo uso y aprovechamiento es muy limitado. El transporte pesado de carga genera el 37% de residuos, seguido de los vehículos utilitarios con un 26%, el segmento de automóviles compuesto por taxis y vehículos particulares genera un 20% y los buses y microbuses utilizados para el transporte de pasajeros genera el 11% del total de residuos.
3. Actualmente el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de las llantas de desecho, es incipiente, informal e inadecuado. Se observa poca capacidad de los entes reguladores y fiscalizadores del gobierno en la aplicación y en hacer cumplir las leyes y normativas ambientales que regulan este residuo. Los importadores, distribuidores y usuarios finales de llantas, no se responsabilizan de la gestión del residuo. Existen tres actividades de la cadena de manejo del residuo que generan las mayores afectaciones a la salud e impactos ambientales que son: el almacenamiento inadecuado; la combustión no controlada y la disposición final inadecuada. Los usos actuales que se le da, no inciden significativamente en la disminución de los volúmenes de llantas de desecho, que se generan, por lo que se no se aprovecha el potencial que tiene este residuo principalmente como recurso energético para el país.

4. Las tecnologías desarrolladas, hasta el momento y que están disponibles para el aprovechamiento y la valorización material de las llantas de desecho son: reencauchado, tratamientos mecánicos, tecnologías de reducción de tamaño, tecnologías de regeneración: desvulcanización, recuperación del caucho, modificación superficial, modificación biológica. Las principales tecnologías para su utilización como combustible son: la incineración, pirolisis y gasificación.
5. Las alternativas de aprovechamiento energético de las llantas de desecho, propuestas tienen como objetivo disminuir sus volúmenes de generación, aprovechando al máximo su poder calorífico por lo que se utilizan como combustible alternativo en la producción de cemento, como combustible sustituto o alternativo en las plantas termoeléctrica, para la obtención de mezclas de combustibles líquidas tales como mezclas de hidrocarburos que contienen Diésel + Gasolina, Fuel-oíl por medio de plantas de pirolisis, obtención de gas de síntesis para la generación de energía eléctrica y calor.
6. La alternativa de aprovechamiento seleccionada consistió en una planta de gasificación de llantas de desecho para la producción de gas de síntesis y su consecuente utilización como combustible en la generación de electricidad, fabricada por la Empresa Sierra Energy. La planta procesa 27,000 Ton/año y genera 5MW de electricidad, la cual podría ser financiada por el BCIE con un préstamo preferencial para generación de electricidad teniendo una tasa de interés del 8%, tres años de gracia, pagadero en 10 años. El monto de la inversión es de 11, 452,348 USD, obteniendo una TIR > TMAR, es decir 48.38 %>25%, un VAN > 0 y un B/C = 1.77 USD/USD, la cual la hacen rentable, factible y viable técnica y económicamente.

VII. Recomendaciones

1.- Para lograr un tratamiento y disposición final efectivo, así como el aprovechamiento tanto del potencial material como energético que poseen los residuos llantas de desecho y se contribuya a resolver la problemática técnica, ambiental, económica y de salud que estos residuos generan:

- Establecer un marco legal estructurado y definido con atribuciones y competencias perfectamente definidas y con una fuerza coercitiva para velar por la correcta aplicación y cumplimiento de las normas correspondientes.
- Para la disposición final y el procesamiento de las llantas de desecho se debe contar con instalaciones e infraestructura tecnológicamente adecuada y control de la contaminación, debidamente autorización por el órgano competente, para manipular las llantas de desechos en la forma prevista y en particular, teniendo en cuenta el nivel tecnológico y de control de la contaminación en el país.
- Se debe exigir, según proceda, que los operadores de los emplazamientos o instalaciones donde se manejan el residuo llantas de desecho vigilen, controlen y mitiguen los efectos ambientales provocados por esas actividades.
- d) Se deben adoptar las medidas adecuadas en los casos en que la labor de vigilancia indique que el manejo de desechos esta provocado emisiones inaceptables.
- Las personas encargadas del manejo de los desechos serán capaces y estarán debidamente capacitadas para desempeñar sus funciones.

2.- Cumpliendo con estas condiciones, deben llevarse a cabo de manera paralela las siguientes actividades complementarias:

- La determinación y cuantificación del residuo llantas de desecho que se generan a nivel nacional;
- La aplicación de mejores prácticas para minimizar la generación de llantas de desechos, sus impactos y afectaciones ambientales y a la salud humana.

- Las plantas para tratamiento, aprovechamiento y disposición final del residuo deberán ser evaluadas de previo y declaradas ambientalmente racionales para el manejo de llantas de desecho.

3.- Las instalaciones de gestión de llantas de desecho, deberán funcionar con arreglo a los principios siguientes:

- Contar con un sistema de manejo ambiental aplicable;
- Adoptar medidas necesarias que permitan salvaguardar la salud y la seguridad ambientales y ocupacionales;
- Tener un programa adecuado de vigilancia, registro y presentación de informes;
- Contar con un programa de capacitación acertado y adecuado para su personal;
- Tener un plan de emergencia apropiado;
- Tener un plan adecuado para el cierre y la atención posterior al cierre.

VII. Bibliografía

1. Adhikari, B. Maiti, S. (2000). Reclamation and recycling of waste rubber. Progress in Polymer Science. Volume 25.909-948.
2. Aguado, R. Olazar, M. (2005). Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Volume 73. p. 290-298.
3. Callon, M., Courtial, J. P. (1995). Cienciometría. La medición de la actividad científica: De la bibliometría a la vigilancia tecnológica. Gijón: Trea.
4. Cano, E. (2007). Valoración Material y energética de Neumáticos fuera de uso. Madrid. Circulo de Innovación en materiales, tecnología aeroespacial y nanotecnología. CIMTAN. Madrid, España.
5. Comisión Económica Europea. CEE (2008). Directiva 2008/98/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo. Actualización de jerarquía de gestión integral de residuos.
6. De Marco, I. Laresgoiti, M. (2002). Recycling polymeric wastes by means of pyrolysis. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Volume 72. p. 817-824.
7. Donatelli, A., Iovane, P., Molino A. (2005). High energy syngas production by waste tyres steam gasification in a rotary kiln pilot plant. Madrid. Revista de obras públicas.
8. EPA/540/9-91/002. (1991). Innovative Treatment Technologies. Overview and Guide to Information Sources. Unites States.
9. EPA/625/8-87/014. (1987). A Compendium of Technologies Used in the Treatment of Hazardous Waste. USA.
10. Hylands, K. & Shulman, V. (2003). Applications of Tyres. Reporting VR 5. Viridis.UK.
11. IDAE (2011). Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Madrid. España.
12. Laresgoiti, M. Caballero, B. (2004). Characterization of the liquid products obtained in tyre pyrolysis. Journal of Applied Polymer Science. Volume 71. p. 917-934.

13. Laresgoiti, M. De Marco, I. (2000). Chromatographic analysis of the gases obtained in tyre pyrolysis. *Journal of Applied Pyrolysis Science*. Volume 55. p. 43-54.
14. Lee, J. & Kim, S. (2010). Gasification kinetics of waste tire-char with CO₂ in a thermobalance reactor. *Energy*: Volume 21, 343-352.
15. Luján, J. (2005). Contaminación ambiental y posibles daños a la salud causados por la quema de neumáticos en la vía pública Argentina. Recuperado de : www.utn.edu.ar/download.aspx?idFile=4691
16. Lund, H. (1996). *Manual McGraw- Hill de Reciclaje*. Editorial McGraw-Hill. México.
17. Marcos, A. (2005). Reciclado de Neumáticos. Situación, Tecnologías y Tendencias. *Revista de Plásticos Modernos*. Volumen 89. p. 473-481.
18. Mastral, A. Murillo, R. (2000). Optimization of scrap automotive tyres recycling into valuable liquid fuels. *Resources Conservation and Recycling* Volume 29. p. 263-272.
19. Murillo, R. Aylon, E. (2006). Process for the separation of gas products from waste tire pyrolysis. *Industrial Engineering Chemical*. Volume 45. p. 1734-1738.
20. Murillo, R. Aylon, E. (2006). Production and application of activated carbons made from waste tire. *Fuel Processing Technology*. Volume 87. p. 143-147.
21. Myhre, M. (2002). Rubber recycling. *Rubber chemistry and technology*. Volume 75. p. 429-474.
22. Naciones Unidas, (1995). Reglamento No.108. Disposiciones uniformes relativas a la aprobación para la producción de neumáticos renovados para vehículos de motor y sus remolques.
23. Naciones Unidas, (1995). Reglamento No.109. Adendum a disposiciones uniformes relativas a la aprobación para la producción de neumáticos renovados para vehículos de motor y sus remolques.
24. OCADE (2016). Diagnóstico ambiental de manejo de neumáticos y baterías en Bogotá. Secretaria de Ambiente Colombia.
25. Osava, M. (2004). Crece el reciclaje de neumáticos. Recuperado en: <http://www.tierramerica.net/2003/0414/noticias3.shtml>.

26. Ramos, A. (1997). Curso de Cemento: Combustibles Alternativos, Ediciones Holderbank. Colombia.
27. Ramos, G. Alguacil, F. López, F.A. (2011). The recycling of end-of-life tyres. technological review. Revista de metalurgia, ISSN 0034-8570, Vol. 47, N° 3, 273-284.
28. Reisman, J. (1997). Air Emissions from Scrap Tyre Combustion. United States National Risk Management Environmental Protection Research Laboratory, Agency Cincinnati, OH 45268.
29. Sierra Energy. (2018). Planta de gasificación con tecnología FastOx Pathfinder. California. USA.
30. Thawat, W. Clell, H. William, D. Paterson, A. (2010). The Highway desing and maintenance standards model. Description of the HDM-III Model. Volumen I. World Bank. London, England.
31. UNEP/CHW.9/18. (2008). Revised Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Used Tyres.
32. Williams, P.T. (2010). Catalytic Pyrolysis-Gasification of Waste Tire and Tire Elastomers for Hydrogen Production. Energy Fuels. Volume 24. Pag. 3928-3935.
33. Yousefi, A. Ait-Kadi, A. Roy, C. (2000). Roy C. Effect of used-tire-derived pyrolytic oil residue on the properties of polymer-modified asphalts. Volume 79. p. 975-986.
34. Yun, J. Isayev, A. (2001). Ultrasonic devulcanization reactors for recycling of GRT: Comparative study. Rubber Chemistry and Technology. Volume 74.p. 317-330.
35. Yun, J. Isayev, A. (2004). Blends of ultrasonically devulcanized and virgin carbon black filled ethylenepropylene-diene monomer rubbers. Journal of Applied Polymer Science. Volume 91. p. 3342-3353.

ANEXOS

Índice de Anexos

	Página
Anexo I: Procedimientos y cálculos para la determinación de la generación anual del residuo llantas de desecho.	i
Anexo II: Valorización material y energética de las llantas de desecho en la Ciudad de Managua.	x
Anexo III: Uso y aplicaciones de las llantas de desecho	xii
Anexo IV: Aspectos ambientales de la planta de gasificación de llantas de desecho para la generación de energía eléctrica.	xiv
Anexo V: Evaluación económico-financiera de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW, gasificación.	xvii
Anexo VI: Cuestionario para los Organismos e Instituciones Estatales reguladoras de la gestión del residuo llantas de desecho.	xxi
Anexo VII: Cuestionario para los Importadores, Distribuidores y Comerciantes de llantas nuevas y de segunda.	xxiii
Anexo VIII: Cuestionario para Funcionarios de Cooperativas de Transporte Publico y Transporte Selectivo.	xxiv

Anexo I: Procedimientos y cálculos para la determinación de la generación anual del residuo llantas de desecho.

1. Descripción de vehículos estándar del Programa HDM-III VOC.

Como vehículo estándar del HDM-III VOC, se tomaron los grupos vehiculares que tenían las características más cercanas de las muestras reales del país y fueron las siguientes:

- **Automóvil Mediano:** Este tipo de carro, también llamado carro saloon, está basado en un automóvil con un motor entre 1500 y 1600cc. Incluye también ciertos tipos de vehículos jeeps livianos como el RAV4, KIA, Daihatsu Rocky, Samurai, etc.
- **Utilitario:** El utilitario es un vehículo de usos varios, tanto para pasajeros como de carga. El vehículo prototipo sería el Toyota Land Cruiser, tanto tipo Jeep como camioneta. También en esta categoría se consideran otros vehículos, como el Toyota Hilux, Isuzu.
- **Microbús:** Este tipo de vehículo, incluye el automóvil grande, con algunas variantes de calibración adecuada al medio de Nicaragua. Las marcas de microbuses más representativas son Volkswagen, Toyota, Mitsubishi, Hyundai, etc. Este vehículo tiene capacidad para 12 a 15 pasajeros.
- **Autobús:** El prototipo empleado para este tipo de vehículo tiene una capacidad de 60 pasajeros sentados. Este tipo de vehículo representa aproximadamente el 15 % del total de la flota vehicular en las carreteras interurbanas de Nicaragua.
- **Camión Mediano:** El prototipo, es un vehículo rígido y de 2 ejes con una capacidad de entre 3.5 y 10 toneladas, la mayoría de estos vehículos son viejos, con una edad promedio de 20 años. Fueron muy pocos los vehículos encontrados con una edad menor de cinco (5) años.
- **Camión Pesado:** Estos son camiones de tres ejes, con capacidades útiles de entre 8 a 12 toneladas. Estos vehículos son en su mayoría viejos con 10 a 20 años.
- **Camión Articulado:** Estos son vehículos de carga de cinco (5) y seis (6) ejes; compuestos por cabezales y remolques, contenedores de carga sólida o pipas de carga líquida. Las capacidades de estos vehículos son de entre 20 toneladas o un contenedor estándar de 40 pies. Estos vehículos tienen dos ejes en tándem, con

una configuración de ruedas tractor semi-remolque. Casi todos los modelos de camiones articulados, son viejos y, en su mayoría, de fabricación norteamericana (Mack, Freightliner, International, Kenworth, etc.), la edad promedio de estos vehículos es de 20 años. Se puede afirmar que únicamente las compañías extranjeras de petróleo y las de envases de refrescos carbonados son las que han importado vehículos nuevos.

2. Rendimiento y vida útil de las llantas.

El rendimiento de las llantas está en función a la rugosidad de la superficie de rodamiento, (IRI), así como de la calidad del mismo neumático, y de los hábitos de conducir de los usuarios. Además, los pasajeros y cargas, la curvatura y el % de gradiente de las carreteras. El modelo requiere una calibración muy precisa en los vehículos pesados de pasajeros y carga (autobuses grandes y camiones).

El modelo toma como insumo el precio económico de las llantas nuevas. En Nicaragua, la mayoría de los usuarios opinan que la vida útil de una neumático nueva, en carretera pavimentada en buen estado, oscila entre 20,000 y 30,000 kilómetros; es decir, un promedio de 25,000 kilómetros en la mayoría de los tipos de vehículos. La predicción del modelo (sin ajustar), está dentro de ese rango para los vehículos pesados. Para los vehículos más livianos, el modelo da por «omisión» un promedio de 40-60,000 kilómetros de rendimiento. En el Sistema de Administración de Pavimentos del MTI, se considera un ajuste en el número de llantas de 3 a 4 llantas extras para vehículos livianos, para calibrar el promedio de vida real del neumático. En el caso de los vehículos pesados de pasajeros y carga (autobuses y camiones), es común la práctica del reencauche de llantas. En efecto, estos vehículos usan llantas reencauchados con la excepción de las delanteras, que por lo general tratan de que sean nuevas o no reencauchadas. El costo de un reencauche es de aproximadamente el 30 al 40 % del costo de un neumático nuevo. Los estimados de promedio de vida de un neumático nuevo, se presentan en la Tabla A.1.1.

Tabla A.1.1. Estimados de vida útil promedio de las llantas en Nicaragua, conforme resultados del modelo de simulación HDM-III VOC.

Tipo de Vehículo	Vida útil (Km/Neumático)	No. Neumático /Vehículo	No. Reencauches/Neumático
Carro	30,000	7	0
Utilitario	25,000	5	0
Microbús	25,000	5	3
Autobús	25,000	7	3
Camión Mediano	25,000	7	2
Camión Pesado	25,000	10	2
Camión Articulado	27,500	18	2

3. Uso anual de los vehículos y llantas.

En el modelo HDM-III VOC, el costo de depreciación por kilómetro se determina dividiendo el costo de capital del vehículo por los kilómetros que ha recorrido, o sea, el término de vida. Los insumos del modelo consisten en estimaciones de línea base de los kilómetros anuales recorridos y el tiempo de servicio en años. El analista determina efectivamente una línea base promedio de la velocidad de recorrido ingresando las horas de recorrido por año. (Sin embargo, se debe hacer notar que la estimación de la línea base de la velocidad no afecta a las velocidades pronosticadas para las vías nuevas o las mejoras viales).

Las líneas base supuestas, de las horas de viaje por año también deben ser consistentes con el número de horas por año en que los vehículos se encuentran disponibles para operar, lo que incluye el tiempo requerido para la carga y descarga, los períodos de descanso del personal, y el tiempo en reparación. La relación (HU) entre las horas de viaje y el total de horas disponible se determina ingresando la proporción de uso por hora. Sin embargo, la proporción HU en efecto actúa como un factor de elasticidad para determinar los kilómetros extra recorridos debido al incremento en las velocidades promedio en los caminos mejorados. Por lo tanto, en el caso de carreteras “con mejoras”, la proporción HU determina una reducción en la

depreciación de los vehículos y costos de los intereses por kilómetro como resultado del incremento en las velocidades promedio.

Los valores de proporción HU utilizados actualmente por el MTI aparentemente se basan en velocidades promedios de recorrido sumamente altas que probablemente puedan ser aplicables para ciertos tramos viales específicos, pero que también son, hasta cierto punto, inconsistentes. Por lo tanto, se definieron un nuevo juego de proporciones HU que se utilizó en todos los estudios nacionales. Los resultados obtenidos al realizar las corridas del modelo HDM-III VOC para determinar el tiempo de uso de los distintos tipos de vehículos en el año se muestra en la Tabla A.1.2.

Tabla A1.2. Estimados de uso de vehículos durante un año: Recorrido (Km/año) y Tiempo de uso (Horas/año), conforme resultados del modelo de simulación HDM-III VOC.

Tipo de Vehículo	Recorrido (Km/año)	Tiempo de uso (Horas/año)	Velocidad promedio (Km/hora)
Carro	28,000	467	60
Utilitario	32,000	533	60
Microbús	70,000	1167	60
Autobús	70,000	1167	60
Camión Mediano	35,000	583	60
Camión Pesado	35,000	583	60
Camión Articulado	48,000	800	60

4. Cálculo de la cantidad de llantas usadas en el periodo 2014- 2018 en el Municipio de Managua.

Con los datos del reporte de vehículos legalmente registrados en la Dirección de Transito de la Policía Nacional, se realiza la estimación de la cantidad de vehículos estándares del modelo HDM-III VOC y se determinan las cantidades totales de unidades de llantas en uso que se convierte en llantas de desecho y las llantas que se reencauchan. Los resultados de los cálculos de generación de llantas de desecho, se presentan a continuación.

Propuestas de tratamiento y disposición final de llantas de desecho en la ciudad de Managua.

Tabla A1.3. Generación anual de llantas fuera de uso, en el periodo 2010-2018.

2010	Vehículo	Coefficiente	No de neumaticos	No de NFUs	Numero de	Numero de	No de Neumaticos	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		Porcentaje
		de generación	por	por	Vehículos	neumaticos	Ajuste x	neumatico	desgaste	NFUs	de NFUs,		
			Vehículo	Vehículo			Reencauche						
			Unidad	NFUs/Vehículo/año	Unidad	Unidad	neumatico/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	%
1	Carro	0.93	7	6.53	73228	478423	454502	9	25	6.75	3067887.06	3067.89	19
2	Utilitario	1.28	5	6.40	76660	490624	466093	12	25	9.00	4194835.20	4194.84	26
3	Microbús	2.80	5	14.00	4448	62272	59158	14	25	10.50	621163.20	621.16	4
4	Autobús	2.80	7	19.60	2972	58251	55339	20	25	15.00	830079.60	830.08	5
5	Camión Mediano	1.40	7	9.80	14098	138160	131252	25	20	20.00	2625047.60	2625.05	16
6	Camión Pesado	1.40	10	14.00	4105	57470	54597	35	20	28.00	1528702.00	1528.70	10
7	Camión Articulado	1.75	18	31.42	3258	102360	97242	40	20	32.00	3111757.27	3111.76	19
	Totales				178769	1387561	1318183				15979471.93	15979.47	100

2011	Vehículo	Coefficiente	No de neumaticos	No de NFUs	Numero de	Numero de	No de Neumaticos	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		Porcentaje
		de generación	por	por	Vehículos	neumaticos	Ajuste x	neumatico	desgaste	NFUs	de NFUs,		
			Vehículo	Vehículo			Reencauche						
			Unidad	NFUs/Vehículo/año	Unidad	Unidad	neumatico/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	%
1	Carro	0.93	7	6.53	75908	495932	471136	9	25	6.75	3180165.66	3180.17	19
2	Utilitario	1.28	5	6.40	79892	511309	485743	12	25	9.00	4371690.24	4371.69	27
3	Microbús	2.80	5	14.00	4805	67270	63907	14	25	10.50	671018.25	671.02	4
4	Autobús	2.80	7	19.60	3061	59996	56996	20	25	15.00	854937.30	854.94	5
5	Camión Mediano	1.40	7	9.80	14689	143952	136755	25	20	20.00	2735091.80	2735.09	17
6	Camión Pesado	1.40	10	14.00	4192	58688	55754	35	20	28.00	1561100.80	1561.10	9
7	Camión Articulado	1.75	18	31.42	3229	101449	96377	40	20	32.00	3084059.00	3084.06	19
	Totales				185776	1438596	1366666				16458063.05	16458.06	100

Propuestas de tratamiento y disposición final de llantas de desecho en la ciudad de Managua.

2012	Vehículo	Coefficiente	No de neumaticos	No de NFUs	Numero de	Numero de	No de Neumaticos	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		Porcentaje
		de generación	por	por	Vehículos	neumaticos	Ajuste x	neumatico	desgaste	NFUs	de NFUs,		
			Vehículo	Vehículo			Reencauche						
			Unidad	NFUs/Vehículo/año	Unidad	Unidad	neumatico/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	%
1	Carro	0.93	7	6.53	79524	519557	493579	9	25	6.75	3331657.98	3331.66	19
2	Utilitario	1.28	5	6.40	83032	531405	504835	12	25	9.00	4543511.04	4543.51	26
3	Microbús	2.80	5	14.00	5081	71134	67577	14	25	10.50	709561.65	709.56	4
4	Autobús	2.80	7	19.60	3149	61720	58634	20	25	15.00	879515.70	879.52	5
5	Camión Mediano	1.40	7	9.80	15557	152459	144836	25	20	20.00	2896713.40	2896.71	17
6	Camión Pesado	1.40	10	14.00	4372	61208	58148	35	20	28.00	1628132.80	1628.13	9
7	Camión Articulado	1.75	18	31.42	3416	107325	101958	40	20	32.00	3262665.08	3262.67	19
	Totales				194131	1504807	1429567				17251757.65	17251.76	100

2013	Vehículo	Coefficiente	No de neumaticos	No de NFUs	Numero de	Numero de	No de Neumaticos	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		Porcentaje
		de generación	por	por	Vehículos	neumaticos	Ajuste x	neumatico	desgaste	NFUs	de NFUs,		
			Vehículo	Vehículo			Reencauche						
			Unidad	NFUs/Vehículo/año	Unidad	Unidad	neumatico/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	%
1	Carro	0.93	7	6.53	86493	565088	536833	9	25	6.75	3623624.24	3623.62	20
2	Utilitario	1.28	5	6.40	84271	539334	512368	12	25	9.00	4611309.12	4611.31	26
3	Microbús	2.80	5	14.00	5868	82152	78044	14	25	10.50	819466.20	819.47	5
4	Autobús	2.80	7	19.60	4487	87945	83548	20	25	15.00	1253219.10	1253.22	7
5	Camión Mediano	1.40	7	9.80	15678	153644	145962	25	20	20.00	2919243.60	2919.24	16
6	Camión Pesado	1.40	10	14.00	4513	63182	60023	35	20	28.00	1680641.20	1680.64	9
7	Camión Articulado	1.75	18	31.42	3134	98465	93541	40	20	32.00	2993323.29	2993.32	17
	Totales				204444	1589810	1510320				17900826.74	17900.83	100

Propuestas de tratamiento y disposición final de llantas de desecho en la ciudad de Managua.

2014	Vehículo	Coefficiente	No de neumaticos	No de NFUs	Numero de	Numero de	No de Neumaticos	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		Porcentaje
		de generación	por	por	Vehículos	neumaticos	Ajuste x	neumatico	desgaste	NFUs	de NFUs,		
			Vehículo	Vehículo			Reencauche						
			Unidad	NFUs/Vehículo/año	Unidad	Unidad	neumatico/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	%
1	Carro	0.93	7	6.53	90749	592893	563249	9	25	6.75	3801929.36	3801.93	20
2	Utilitario	1.28	5	6.40	90121	576774	547936	12	25	9.00	4931421.12	4931.42	26
3	Microbús	2.80	5	14.00	6348	88872	84428	14	25	10.50	886498.20	886.50	5
4	Autobús	2.80	7	19.60	4446	87142	82785	20	25	15.00	1241767.80	1241.77	6
5	Camión Mediano	1.40	7	9.80	17522	171716	163130	25	20	20.00	3262596.40	3262.60	17
6	Camión Pesado	1.40	10	14.00	5123	71722	68136	35	20	28.00	1907805.20	1907.81	10
7	Camión Articulado	1.75	18	31.42	3452	108456	103033	40	20	32.00	3297049.13	3297.05	17
	Totales				217761	1697575	1612696				19329067.21	19329.07	100

2015	Vehículo	Coefficiente	No de neumaticos	No de NFUs	Numero de	Numero de	No de Neumaticos	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		Porcentaje
		de generación	por	por	Vehículos	neumaticos	Ajuste x	neumatico	desgaste	NFUs	de NFUs,		
			Vehículo	Vehículo			Reencauche						
			Unidad	NFUs/Vehículo/año	Unidad	Unidad	neumatico/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	%
1	Carro	0.93	7	6.53	92606	605026	574775	9	25	6.75	3879728.37	3879.73	20
2	Utilitario	1.28	5	6.40	89590	573376	544707	12	25	9.00	4902364.80	4902.36	26
3	Microbús	2.80	5	14.00	6306	88284	83870	14	25	10.50	880632.90	880.63	5
4	Autobús	2.80	7	19.60	4421	86652	82319	20	25	15.00	1234785.30	1234.79	6
5	Camión Mediano	1.40	7	9.80	17054	167129	158773	25	20	20.00	3175454.80	3175.45	17
6	Camión Pesado	1.40	10	14.00	4967	69538	66061	35	20	28.00	1849710.80	1849.71	10
7	Camión Articulado	1.75	18	31.42	3367	105785	100496	40	20	32.00	3215864.55	3215.86	17
	Totales				218311	1695790	1611000				19138541.52	19138.54	100

Propuestas de tratamiento y disposición final de llantas de desecho en la ciudad de Managua.

2016	Vehículo	Uso anual	Vida útil	Coefficiente	No de Llantas	No de Llantas de	Numero de	Numero de	No de Llantas	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		%
			de la llanta	de generacion	por	desecho por	Vehiculos	llantas	Ajuste x	llanta	desgaste	llantas de	de llantas de desecho,		
					Vehículo	Vehículo			Reencauche			desecho			
		Km/año	Km/Llanta		Unidad	antas/Vehículo/año	Unidad	Unidad	Llantas/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	
1	Carro	28000	30000	0.93	7	6.53	109830	717556.0	681678.2	9.0	25.0	6.75	4601327.9	4601.3	20
2	Utilitario	32000	25000	1.28	5	6.40	105230	673472.0	639798.4	12.0	25.0	9	5758185.6	5758.2	25
3	Microbus	70000	25000	2.80	5	14.00	7478	104692.0	99457.4	14.0	25.0	10.5	1044302.7	1044.3	5
4	Autobus	70000	25000	2.80	7	19.60	5455	106918.0	101572.1	20.0	25.0	15	1523581.5	1523.6	7
5	Camion Mediano	35000	25000	1.40	7	9.80	20227	198224.6	188313.4	25.0	20.0	20	3766267.4	3766.3	17
6	Camion Pesado	35000	25000	1.40	10	14.00	5891	82474.0	78350.3	35.0	20.0	28	2193808.4	2193.8	10
7	Camion Articulado	48000	27500	1.75	18	31.42	3950	124101.8	117896.7	40.0	20.0	32	3772695.3	3772.7	17
2016	Totales						258061	2007438	1907066.5				22660168.7	22660.2	100
2017	Vehículo	Uso anual	Vida útil	Coefficiente	No de Llantas	No de Llantas de	Numero de	Numero de	No de Llantas	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		%
			de la llanta	de generacion	por	desecho por	Vehiculos	llantas	Ajuste x	llanta	desgaste	llantas de	de llantas de desecho,		
					Vehículo	Vehículo			Reencauche			desecho			
		Km/año	Km/Llanta		Unidad	antas/Vehículo/año	Unidad	Unidad	Llantas/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	
1	Carro	28000	30000	0.93	7	6.53	110250	720300.0	684285.0	9.0	25.0	6.75	4618923.8	4618.9	20
2	Utilitario	32000	25000	1.28	5	6.40	106420	681088.0	647033.6	12.0	25.0	9	5823302.4	5823.3	25
3	Microbus	70000	25000	2.80	5	14.00	7756	108584.0	103154.8	14.0	25.0	10.5	1083125.4	1083.1	5
4	Autobus	70000	25000	2.80	7	19.60	6235	122206.0	116095.7	20.0	25.0	15	1741435.5	1741.4	7
5	Camion Mediano	35000	25000	1.40	7	9.80	21200	207760.0	197372.0	25.0	20.0	20	3947440.0	3947.4	17
6	Camion Pesado	35000	25000	1.40	10	14.00	6012	84168.0	79959.6	35.0	20.0	28	2238868.8	2238.9	10
7	Camion Articulado	48000	27500	1.75	18	31.42	4252	133590.1	126910.6	40.0	20.0	32	4061139.3	4061.1	17
2017	Totales						262125	2057696	1954811.3				23514235.2	23514.2	100

Propuestas de tratamiento y disposición final de llantas de desecho en la ciudad de Managua.

2018	Vehículo	Uso anual	Vida útil	Coeficiente	No de Llantas	No de Llantas de	Numero de	Numero de	No de Llantas	Peso Prom.	% de	Peso Prom.	Peso Total anual		%
			de la llanta	de generacion	por	desecho por	Vehiculos	Llantas	Ajuste x	llanta	desgaste	Llantas de	de llantas de desecho,		
					Vehículo	Vehículo			Reencauche			desecho			
		Km/año	Km/Llanta		Unidad	antas/Vehículo/año	Unidad	Unidad	Llantas/año	Kg		Kg	Kg/año	Ton/año	
1	Carro	28000	30000	0.93	7	6.53	115625	755416.7	717645.8	9.0	25.0	6.75	4844109.4	4844.1	20
2	Utilitario	32000	25000	1.28	5	6.40	109360	699904.0	664908.8	12.0	25.0	9	5984179.2	5984.2	25
3	Microbus	70000	25000	2.80	5	14.00	7760	108640.0	103208.0	14.0	25.0	10.5	1083684.0	1083.7	4
4	Autobus	70000	25000	2.80	7	19.60	6250	122500.0	116375.0	20.0	25.0	15	1745625.0	1745.6	7
5	Camion Mediano	35000	25000	1.40	7	9.80	21250	208250.0	197837.5	25.0	20.0	20	3956750.0	3956.8	16
6	Camion Pesado	35000	25000	1.40	10	14.00	6055	84770.0	80531.5	35.0	20.0	28	2254882.0	2254.9	9
7	Camion Articulado	48000	27500	1.75	18	31.42	4525	142167.3	135058.9	40.0	20.0	32	4321885.1	4321.9	18
2018	Totales						270825	2121648	2015565.5				24191114.7	24191.1	100

Anexo II. Valorización material y energética de las llantas de desecho en la Ciudad de Managua.

Destino de las llantas de desecho.	Unidades	Ton/año	Porcentaje, %	
Llantas sustituidas	1695,790	20,145.83		
Reencauche	84,790	1,007.29	5	
Total, llantas usadas	1611,000	19,138.54		
a) Uso directo en obras de Ingeniería Civil	48,300	574.16		3
1. Muros de contención		191.39	1	
2. Estabilización de caminos		191.39	1	
3. Construcción de Parques Infantiles		191.39	1	
b) Usos agrícolas	16,110	191.39		1
1. Recipiente para alimentación de animales.		47.85	0.25	
2. Bebederos		38.28	0.20	
3. Siembra de almácigos		105.26	0.55	
c) Usos artesanales	32,220	382.77		2
1. Elaboración de muebles,		19.14	0.1	
2. Elaboración de accesorios eléctricos		11.48	0.06	
3. Elaboración de adornos		76.55	0.4	
4. Elaboración de juguetes		95.69	0.5	
5. Fabricación de Calzado: Sandalias y suelas		76.55	0.4	
6. Elaboración de maceteras		57.42	0.3	
1. Elaboración de sellos y elementos amortiguadores		45.93	0.24	
d) Exportación de llantas de desecho	241,650	2,870.78		15
1. Llantas de desecho enteras o individuales		861.234	4.5	
2. En pacas		2009.546	10.5	
e) Combustión no controlada	80,550	956.93		5
1. Combustible para hornos de panadería		95.69	0.5	
2. Combustible para hornos de cerámica para construcción		382.77	2	
3. Combustión a cielo abierto en protestas callejeras		95.69	0.5	
4. Combustión en vertederos municipales para extracción de acero		382.77	2	

Anexo II. Valorización material y energética de las llantas de desecho en la Ciudad de Managua.

f) Disposición final inadecuada	1192,140	14,162.52		74
1. Lanzamiento en cauces,		1416.252	7.4	
2. Lanzamiento en terrenos baldíos,		708.126	3.7	
3. Lanzamiento en basureros ilegales		4248.756	22.2	
4. Lanzamiento en la vía pública		708.126	3.7	
5. Almacenamientos inadecuados		7081.26	37	

Anexo III: Uso y aplicaciones de las llantas de desecho



Pistas ecuestres.



Sistemas de protección para motociclistas.



Reductores de altura de olas.



Barreras divisorias del trafico



Barreras de protección de carreras de autos.



Pantallas acústicas

Anexo III: Uso y aplicaciones de las llantas de desecho



Construcción de taludes.



Relleno ligero de terraplenes.



Balsas de almacenamiento e infiltración de agua.



Rellenos de trasdós de muros.



Aplicaciones en Ingeniería de Vertederos.



Material de Drenaje.

Anexo IV: Aspectos ambientales de la planta de gasificación de llantas de desecho para la generación de energía eléctrica.

1. Localización de la planta.

Se ha destinado para el emplazamiento de la planta, una propiedad ubicada en el Km 28 de la carretera nueva a León, en el Km 28, en la comunidad de Los Brasiles, que tiene una área de 62,722 m², de los cuales se ocupará inicialmente su mitad oeste 32,780 m². Se trata de un suelo clasificado como urbano de uso industrial, compatible con la actividad, de acuerdo con las con las normas urbanísticas de la Alcaldía Municipal y las condiciones del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio cuyas determinaciones son la que regirán el proyecto de construcción. La parcela tiene acceso a los servicios básicos de suministro de agua, red de media y baja tensión, parada de aguas residuales (fecales y pluviales). No existen recursos naturales que puedan verse afectados de forma apreciable por el desarrollo del proyecto; tampoco hábitats ni elementos geomorfológicos de protección especial.

El proyecto no afecta al dominio público hidráulico ni a sus márgenes de protección. Tampoco afecta a montes de utilidad pública ni a vías pecuarias.

La ubicación propuesta no se encuentra incluida dentro de las áreas protegidas previstas en la Ley 217, Ley general del medio ambiente y recursos naturales

2. Características del potencial impacto al ambiente.

El principal impacto de la actividad en su normal funcionamiento serán las emisiones a la atmósfera por la combustión de Syngas producido, si bien contará con un estricto control de su composición y filtrado de gases previos a su salida. Por otro lado, hay que considerar que la planta producirá gas y petróleo altamente inflamable y explosivos por lo que se han diseñado medidas de seguridad para minimizar el riesgo de explosión e incendios en la planta, así como de cualquier fuga que pueda producir contaminaciones. El potencial impacto durará mientras se desarrolle la actividad y será fácilmente reversible a la situación previa, una vez que ésta finalice.

3. Medidas preventivas, correctoras o compensatorias para la integración ambiental del proyecto.

3.1. Protección del suelo y del sistema hidrológico e hidrogeológico.

De acuerdo con lo previsto en La Ley 217, Ley General del Medio Ambiente y Recursos Naturales, no existen actividades potencialmente contaminantes del suelo. Se adoptarán las medidas oportunas para evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, impidiendo la filtración del arrastre de sustancias contaminantes al medio. En este sentido, se diseñará una red estanca y eficaz para la recogida de derrames, disponiendo de los sistemas de control adecuados (arquetas de registro, separación de hidrocarburos, etc.). En caso de ser necesario suministro de combustible para el generador y la maquinaria utilizada en la actividad, dicha zona estará impermeabilizada y dispondrá de red para la recogida de posibles derrames, según especificaciones técnicas, para evitar infiltraciones al terreno que puedan contaminar el suelo y las aguas subterráneas. Estas instalaciones deberán someterse periódicamente a pruebas de estanqueidad o impermeabilidad.

3.2. Protección a la atmósfera, calidad del aire y prevención del ruido.

Para garantizar la calidad del aire y protección de la atmósfera, se prevé la instalación de una unidad de tratamiento de humos mediante filtros de mangas, teniendo en cuenta el caudal de humos de salida con una velocidad de salida de humos de 1m/s. También se prevé la instalación de un sistema de monitoreo de humos, con control continuo de CO, CO₂, HCl, HF, NH₃, H₂O, NO, NO₂, SO₂, O₂, y TOC (Carbono Orgánico Total) con la participación de empresa certificada para ello.

Con respecto a la contaminación acústica, las medidas y comprobaciones sobre los niveles de ruido generados en las instalaciones, no deberán sobrepasar las condiciones que establece la Ley 618, Ley general de higiene y seguridad del trabajo, en cualquier caso, los valores de los índices de ruido no superarán los 65 dB. El promotor del proyecto ha de adoptar las medidas y dispositivos en maquinaria y

equipos utilizados en la actividad que disminuyan al máximo los niveles de ruido y emisiones generados por estos.

3.3. Producción y gestión de residuos.

La gestión y manejo de la totalidad de los residuos generados durante la fase de funcionamiento de esta actividad, estarán sujetos a lo dispuesto en la Ley general del ambiente y decretos 20 y 21/2017 de evaluación ambiental y vertidos de aguas residuales respectivamente.

3.4. Protección del Patrimonio y bienes de dominio público.

El proyecto no afecta al dominio público hidráulico ni a sus márgenes de protección. Tampoco afecta a parcelas de utilidad pública ni a vías pecuarias.

Especificaciones para el seguimiento ambiental del proyecto

El promotor del proyecto remitirá al órgano sustantivo un informe de seguimiento sobre el cumplimiento de las condiciones, o de las medidas correctoras y compensatorias establecidas anualmente. Este informe incluirá un listado de comprobación de las medidas previstas en el programa de vigilancia. Cada informe deberá estar suscritos conjuntamente por el promotor y el responsable del seguimiento y vigilancia ambiental del proyecto, y se presentarán ante el órgano ambiental entre el 1 de enero y el 31 de marzo del año siguiente al de la campaña de seguimiento efectuada. Para llevar a cabo el programa de seguimiento y vigilancia el promotor deberá designar un responsable del mismo, que podrá ser personal interno o externo de la empresa promotora, y notificar su nombramiento tanto al órgano sustantivo como ambiental.

El seguimiento y la vigilancia incidirán especialmente en los siguientes puntos:

- Control de inmisión de partículas.
- Control de Calidad del SYNGAS producido.
- Control del sistema de monitoreo de humos.

- Control del estado y mantenimiento de los sistemas de seguridad contra incendio, explosión y fuga de gas e hidrocarburos.

Anexo V: Evaluación económico-financiera de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW, gasificación. Tabla A4-1. FNE, TIR, VPN, B/C de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW, sin financiamiento: Inversión pura.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		12684,385.36	13218,446.93	13752,508.49	14286,570.06	14820,631.62	15354,693.19	15888,754.76	16422,816.32	16956,877.89	17490,939.45
Valor de Salvamento											652,887.00
Costos de Producción Directos		2157,202.49	2248,029.04	2338,855.58	2429,682.13	2520,508.68	2611,335.23	2702,161.78	2792,988.32	2883,814.87	2974,641.42
Utilidad Marginal		10527,182.87	10970,417.89	11413,652.91	11856,887.93	12300,122.94	12743,357.96	13186,592.98	13629,828.00	14073,063.02	15169,185.03
Costos Indirectos		139,445.53	145,316.73	151,187.92	157,059.12	162,930.31	168,801.51	174,672.70	180,543.90	186,415.09	192,286.29
Costos Administrativos		278,891.07	290,633.46	302,375.85	314,118.24	325,860.63	337,603.02	349,345.41	361,087.80	372,830.19	384,572.58
Costos de Venta y Distribución		139,494.10	145,367.34	151,240.58	157,113.82	162,987.06	168,860.30	174,733.54	180,606.78	186,480.02	192,353.26
Pagos de Intereses		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Depreciación		1009,200.00	908,280.00	817,452.00	735,706.80	662,136.12	595,922.51	536,330.26	482,697.23	434,427.51	390,984.76
Impuesto del 2% (Alcaldía)		105,271.83	109,704.18	114,136.53	118,568.88	123,001.23	127,433.58	131,865.93	136,298.28	140,730.63	151,691.85
Utilidad Bruta		8854880.34	9371116.18	9877260.03	10374321.07	10863207.59	11344737.05	11819645.14	12288594.01	12752179.57	13857296.30
Impuesto del 30% DGI		2656,464.10	2811,334.86	2963,178.01	3112,296.32	3258,962.28	3403,421.11	3545,893.54	3686,578.20	3825,653.87	4157,188.89
Utilidad Neta		6198,416.24	6559,781.33	6914,082.02	7262,024.75	7604,245.31	7941,315.93	8273,751.60	8602,015.81	8926,525.70	9700,107.41
Pagos a Principal		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inversión de Activos (Tangibles e Intangibles)	10342,000.00										
Capital de Trabajo	1110,348.00										
Inversión	11452,348.00										
Préstamo											
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-11452,348.00	6198,416.24	6559,781.33	6914,082.02	7262,024.75	7604,245.31	7941,315.93	8273,751.60	8602,015.81	8926,525.70	9700,107.41
TIR	58.51%										
VAN	C\$11368,525.71										
B/C	C\$2.24										

Anexo V: FNE, TIR, VPN, B/C de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW, Tasa de interés = 8 %; Plazo: = 10 años con tres años iniciales de gracia. Préstamo Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		12684,385.36	13218,446.93	13752,508.49	14286,570.06	14820,631.62	15354,693.19	15888,754.76	16422,816.32	16956,877.89	17490,939.45
Valor de Salvamento											652,887.00
Costos de Producción Directos		2157,202.49	2248,029.04	2338,855.58	2429,682.13	2520,508.68	2611,335.23	2702,161.78	2792,988.32	2883,814.87	2974,641.42
Utilidad Marginal		10527,182.87	10970,417.89	11413,652.91	11856,887.93	12300,122.94	12743,357.96	13186,592.98	13629,828.00	14073,063.02	15169,185.03
Costos Indirectos		139,445.53	145,316.73	151,187.92	157,059.12	162,930.31	168,801.51	174,672.70	180,543.90	186,415.09	192,286.29
Costos Administrativos		278,891.07	290,633.46	302,375.85	314,118.24	325,860.63	337,603.02	349,345.41	361,087.80	372,830.19	384,572.58
Costos de Venta y Distribución		139,494.10	145,367.34	151,240.58	157,113.82	162,987.06	168,860.30	174,733.54	180,606.78	186,480.02	192,353.26
Pagos de Intereses		916,187.84	989,482.87	1068,641.50	1154,132.82	1024,786.38	885,092.23	734,222.55	571,283.29	395,308.89	205,256.54
Depreciación		1009,200.00	908,280.00	817,452.00	735,706.80	662,136.12	595,922.51	536,330.26	482,697.23	434,427.51	390,984.76
Impuesto del 2% (Alcaldía)		105,271.83	109,704.18	114,136.53	118,568.88	123,001.23	127,433.58	131,865.93	136,298.28	140,730.63	151,691.85
Utilidad Bruta		7938692.50	8381633.31	8808618.53	9220188.25	9838421.21	10459644.82	11085422.59	11717310.72	12356870.68	13652039.76
Impuesto del 30% DGI		2381,607.75	2514,489.99	2642,585.56	2766,056.47	2951,526.36	3137,893.44	3325,626.78	3515,193.22	3707,061.21	4095,611.93
Utilidad Neta		5557,084.75	5867,143.32	6166,032.97	6454,131.77	6886,894.85	7321,751.37	7759,795.81	8202,117.50	8649,809.48	9556,427.83
Pagos a Principal		0.00	0.00	0.00	1616,830.45	1746,176.89	1885,871.04	2036,740.72	2199,679.98	2375,654.38	2565,706.73
Inversión de Activos (Tangibles e Intangibles)	10342,000.00										
Capital de Trabajo	1110,348.00										
Inversión	11452,348.00										
Préstamo											
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-11452,348.00	5557,084.75	5867,143.32	6166,032.97	4837,301.32	5140,717.96	5435,880.33	5723,055.09	6002,437.52	6274,155.10	6990,721.10
TIR	48.38%										
VAN	C\$7036,905.80										
B/C	C\$1.77										

Anexo V: FNE, TIR, VPN, B/C de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW, Tasa de interés = 15 %; Plazo:= 10 años. Préstamo Banca Nacional (BDF/BAC/BANPRO/BANCORP).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		12684,385.36	13218,446.93	13752,508.49	14286,570.06	14820,631.62	15354,693.19	15888,754.76	16422,816.32	16956,877.89	17490,939.45
Valor de Salvamento											652,887.00
Costos de Producción Directos		2157,202.49	2248,029.04	2338,855.58	2429,682.13	2520,508.68	2611,335.23	2702,161.78	2792,988.32	2883,814.87	2974,641.42
Utilidad Marginal		10527,182.87	10970,417.89	11413,652.91	11856,887.93	12300,122.94	12743,357.96	13186,592.98	13629,828.00	14073,063.02	15169,185.03
Costos Indirectos		139,445.53	145,316.73	151,187.92	157,059.12	162,930.31	168,801.51	174,672.70	180,543.90	186,415.09	192,286.29
Costos Administrativos		278,891.07	290,633.46	302,375.85	314,118.24	325,860.63	337,603.02	349,345.41	361,087.80	372,830.19	384,572.58
Costos de Venta y Distribución		139,494.10	145,367.34	151,240.58	157,113.82	162,987.06	168,860.30	174,733.54	180,606.78	186,480.02	192,353.26
Pagos de Intereses		1717,852.20	1633,244.44	1535,945.51	1424,051.74	1295,373.91	1147,394.40	977,217.96	781,515.06	556,456.73	297,639.65
Depreciación		1009,200.00	908,280.00	817,452.00	735,706.80	662,136.12	595,922.51	536,330.26	482,697.23	434,427.51	390,984.76
Impuesto del 2% (Alcaldía)		105,271.83	109,704.18	114,136.53	118,568.88	123,001.23	127,433.58	131,865.93	136,298.28	140,730.63	151,691.85
Utilidad Bruta		7137028.14	7737871.75	8341314.52	8950269.33	9567833.68	10197342.65	10842427.18	11507078.94	12195722.84	13559656.65
Impuesto del 30% DGI		2141,108.44	2321,361.52	2502,394.36	2685,080.80	2870,350.11	3059,202.79	3252,728.15	3452,123.68	3658,716.85	4067,897.00
Utilidad Neta		4995,919.70	5416,510.22	5838,920.16	6265,188.53	6697,483.58	7138,139.85	7589,699.02	8054,955.26	8537,005.99	9491,759.66
Pagos a Principal		564,051.76	648,659.52	745,958.45	857,852.22	986,530.05	1134,509.56	1304,686.00	1500,388.90	1725,447.23	1984,264.31
Inversión de Activos (Tangibles e Intangibles)	10342,000.00										
Capital de Trabajo	1110,348.00										
Inversión	11452,348.00										
Préstamo											
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-11452,348.00	4431,867.94	4767,850.70	5092,961.71	5407,336.31	5710,953.53	6003,630.29	6285,013.03	6554,566.36	6811,558.76	7507,495.34
TIR	43.16%										
VAN	C\$6040,218.15										
B/C	C\$1.66										

Anexo V: Resumen de resultados de evaluación económica-financiera de la planta de gasificación de llantas de desecho y generación de 5MW.

Criterios de evaluación	Escenario I	Escenario II	Escenario III
	Inversión pura -sin financiamiento.	Préstamo preferencial de BCIE para proyectos de Energías Renovables con aval del gobierno de Nicaragua Tasa: = 8%; Periodo: =10 años. Tres años de gracia.	Préstamo de Banca Nacional (BDF/BAC/BANPRO/BANCORP) para proyectos de Energías Renovables Tasa: = 15%; Periodo: =10 años.
TIR	58.51 %	48.38 %	43.16 %
VAN	11,368,525.71 USD	7,036,905.80 USD	6,040,218.15 USD
B/C	2.24 USD/USD	1.77 USD/USD	USD1.66 USD/USD

Anexo VI: Cuestionario para los Organismos e Instituciones Estatales reguladoras de la gestión del llantas de desecho.

Nombre de la Institución: _____

Nombre del funcionario: _____

Cargo que ocupa: _____

Años de desempeño del cargo: _____

1. ¿Cuáles son las leyes, normativa o disposiciones legales aplicables a la gestión de los residuos especiales como las llantas de desecho, en el ámbito de competencias de su institución?
2. Como las leyes, normativas y/o disposiciones legales, aplicables a la gestión de los residuos especiales como las llantas de desecho regulan los siguientes aspectos esta la gestión:
 - Ingreso de llantas al país,
 - Distribución y comercialización de llantas,
 - Uso y empleo de llantas nuevas y de segunda mano,
 - Reutilización y Reciclaje,
 - Disposición Final.
3. ¿Cuáles son las facultades que tiene su institución, para aplicar y hacer cumplir las normas legales que regulan la gestión de los residuos especiales como las llantas de desecho?
4. ¿Cuáles son los procedimientos que implementa su institución para aplicar y hacer cumplir las normas legales que regulan la gestión de los residuos especiales como las llantas de desecho?
5. ¿Cuáles son los procedimientos coercitivos utilizados por la institución, para hacer cumplir las sanciones
6. ¿Cuántos casos por violaciones a las leyes y disposiciones legales de carácter ambiental relacionado con la gestión de los residuos especiales como las llantas de desecho, han tramitado en la institución que usted representa?

7. ¿Cuántas sanciones ha aplicado por violaciones a las leyes y disposiciones legales de carácter ambiental relacionado con la gestión de los residuos especiales como las llantas de desecho?
8. ¿Cuál es la responsabilidad de los generadores de Llantas de desecho en la gestión de este residuo?
9. ¿Se regula el ingreso al país de llantas de segunda mano?
10. ¿Cuáles son los usos de las llantas de desecho permitidos por la ley?
11. ¿El marco legal vigente proporciona incentivos para el uso, la reutilización y reciclaje de llantas de desecho?

12. Anexo VII: Cuestionario para los Importadores, Distribuidores y Comerciantes de Neumático Nuevos y Llantas de Segunda.

1. **Nombre de la Institución:** _____
2. **Nombre del funcionario:** _____
3. **Cargo que ocupa:** _____
4. **Años de desempeño del cargo:** _____
5. ¿Qué tipo de llantas y de que marca, Usted Importa, ¿Distribuye o Comercializa anualmente?
6. ¿Cuáles son las cantidades anuales que Usted, ¿Importa, Distribuye o Comercializa?
7. ¿Qué cantidad de llantas de segunda, importan anualmente?
8. ¿Cuál es su responsabilidad en el manejo y disposición final del residuo llantas de desecho?
9. ¿Es su obligación recibir las llantas de desecho y darles el tratamiento adecuado para evitar afectaciones ambientales y a la salud producida por estos?
10. ¿Qué tipo de tratamiento les dan a las llantas de desecho?

Anexo VIII: Cuestionario para Funcionarios de Cooperativas de transporte público y transporte selectivo.

1. ¿Qué tipo de vehículo, tiene en su flota?
2. ¿Cuántos vehículos tiene su flota vehicular?
3. ¿Cuál es la cantidad de llantas que usan estos vehículos, incluyendo el neumático de repuesto?
4. ¿Cuál es la vida útil de una llanta?
5. ¿Cada cuántos kilómetros cambian sus llantas?
6. ¿Cada cuánto tiempo realizan el cambio de llantas?
7. ¿Hacen uso del Reencauche para sus llantas?
8. ¿Es su obligación darles el tratamiento adecuado a las llantas de desecho, para evitar afectaciones ambientales y a la salud producida por estos?
9. ¿Qué tipo de tratamiento les dan a las llantas de desecho?
10. ¿Qué tipo de uso o destino les dan a estos las llantas de desecho?
11. ¿Cuál es la disposición final que le dan a las llantas de desecho?